

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Arístides Bryan Domínguez Dufresche

Académico de Número

Buenos Aires

REPÚBLICA ARGENTINA

CONTENIDO

- 1. INTRODUCCIÓN**
 - 2. MECÁNICA DE FLUIDOS**
 - 3. CONVERSIÓN DE ENERGÍA**
 - 4. MOTORES HIDRÁULICOS**
 - 5. GENERADORES ELÉCTRICOS**
 - 6. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**
 - 7. CUENCAS HÍDRICAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA**
 - 8. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA**
 - 9. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO MUNDIAL**
- APÉNDICE – Prefijos del Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)**

1

INTRODUCCIÓN

1.1 FUENTES DE ENERGÍA

El proceso de búsqueda de nuevas *fuentes de energía* condujo al hombre a penetrar cada vez más profundamente en la estructura de la materia.

Cuerpos		Energía Mecánica
Moléculas		Energía térmica
Átomos		Energía eléctrica
Núcleos		Energía nuclear

En la generación de energía a través de algunas de las fuentes anteriores y en la conversión de una forma de energía en otra, siempre se genera calor.

El calor es la forma más degradada de la energía

Los procesos de conversión de cualquiera de las formas de energía en calor tienen una eficiencia muy alta.

Los procesos de conversión de calor en otras formas de energía tienen una eficiencia muy baja.

Esto se debe a que están sujetos a un ciclo termodinámico que se desarrolla en el sistema físico en el que se realiza esta conversión (Segundo principio de la Termodinámica).

2

MECÁNICA DE FLUIDOS

2. LOS FLUIDOS

2.1 ESTRUCTURA MOLECULAR DE LA MATERIA

La *materia* se presenta ante nuestros sentidos en tres *formas físicas* diferentes denominadas *fases*. Estas son: la fase *sólida*, la fase *líquida* y la fase *gaseosa*. Esta última incluye al *vapor*.

Los cuerpos que se encuentran en *fase líquida* o en *fase gaseosa* pueden deformarse con mayor facilidad que cuando se encuentran en *fase sólida*. Al moverse se deforman de modo continuo (*fluyen*), razón por la cual se los denomina *fluidos*.

La *Mecánica de los sólidos deformables* y la *Mecánica de los fluidos* son las partes de la *Mecánica de los cuerpos deformables* que estudian los movimientos de los sólidos y de los fluidos respectivamente.

Los problemas de la mecánica de los cuerpos deformables (sólidos y fluidos) pueden ser planteados tomando en consideración la *estructura molecular de la materia*. Este es el campo de la *Mecánica molecular*.

La aplicación de la mecánica molecular al análisis de movimiento de los cuerpos deformables enfrenta una gran dificultad. El inmenso número de moléculas que componen un cuerpo hace que el número de ecuaciones que deben plantearse para estudiar sus movimientos individuales sea muy grande.

La descripción del movimiento de un cuerpo formado por N moléculas consiste de un cierto número de ecuaciones diferenciales ordinarias para cada molécula.

2.2 HIPÓTESIS DE LA CONTINUIDAD FÍSICA DE LA MATERIA

A fin de reducir el número de ecuaciones requerido por la mecánica molecular se pensó en sustituir idealmente la estructura molecular de la materia por un *medio continuo*.

Un “medio continuo” es una masa carente de estructura interna, en la cual no existen ni átomos ni moléculas, dotada de las mismas propiedades físicas de la materia real (extensión, masa, inercia, etc.)”.

Esta sustitución ideal de la estructura real por un medio continuo constituye la *hipótesis de la continuidad física de la materia*. Se originó así el desarrollo de una rama de la Mecánica de los cuerpos deformables denominada *Mecánica de los medios continuos*.

Para aplicar las leyes de la mecánica Newtoniana al estudio del movimiento de un cuerpo carente de estructura interna fue necesario introducir una nueva definición de “*partícula*”.

Una “partícula” de un medio continuo es un entorno material, de forma arbitraria y con las dimensiones mínimas que le permitan mantener las mismas propiedades físicas de la sustancia real.

En apariencia parecería que esta definición llevara implícita la posibilidad de un *fraccionamiento indefinido* de la materia. No obstante, al fraccionar un cuerpo real en partes cada vez menores sucede que, a partir de cierto tamaño, *las propiedades físicas de las subdivisiones comienzan a diferir de las propiedades de la sustancia original considerada en forma global*.

En efecto, cuando el tamaño de las subdivisiones se aproxima al tamaño molecular o cuando alcanza tamaños inferiores al molecular, se comprueba que

- las propiedades físicas de “una molécula” no son las mismas que las del “conjunto de moléculas” que integran el cuerpo,
- las propiedades físicas de un pequeño espacio vacío entre moléculas no son las mismas que las de una molécula y consecuentemente no son iguales a las del conjunto de moléculas del cuerpo.

Adicionalmente, cuando la materia está en *fase líquida* o en *fase gaseosa*, las moléculas se encuentran en un movimiento aleatorio continuo.

Debido a este movimiento, una subdivisión de tamaño molecular puede en un instante estar ocupada por una molécula y en otro instante estar vacía.

Consecuentemente la *densidad de masa* en esa subdivisión está sujeta a fluctuaciones muy grandes.

Es así entonces que propiedades físicas como *presión, densidad de masa, temperatura, energía interna, entalpía, entropía, viscosidad* y otras, sólo pueden ser definidas en un volumen suficientemente grande como para que conjunto de moléculas contenidas en él tenga las mismas propiedades físicas de la sustancia de la que está constituido el cuerpo.

El volumen mínimo requerido para que estas definiciones tengan significación se denomina ***volumen límite***.

2.3 HIPÓTESIS GENERALES DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS

- El fluido es un *medio continuo, homogéneo, isótropo*.
- El fluido tiene comportamiento *viscoso-newtoniano*.
- El flujo se desarrolla en *fase simple* (líquida o gaseosa).
- El flujo se desarrolla en condiciones de *equilibrio termodinámico*.
- Durante el flujo no se producen procesos de difusión ni reacciones químicas ni reacciones nucleares.

2.4 DISCIPLINAS QUE INTEGRAN LA MECÁNICA DE FLUIDOS

Mecánica: Principios de conservación (masa, cantidad de movimiento y energía).

Termodinámica: Ecuaciones de estado, principios de la termodinámica, evoluciones termodinámicas.

Reología: Ecuaciones constitutivas (Relaciones tensión–velocidad de deformación del fluido).

Tranporte de calor: Leyes de la difusión, convección y radiación.

2.5 RAMAS DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS

1. HIDRODINÁMICA: Estudia el flujo de los fluidos incompresibles en condiciones isotérmicas y no isotérmicas.

- **Hidráulica:** Parte de la Hidrodinámica que abarca el estudio del flujo de fluidos incompresibles en fase simple (líquida), en condiciones isotérmicas o más precisamente cuasi- isotérmicas, sin transferencia de calor a través del contorno y sin fuentes internas de calor.
- **Termohidráulica:** Parte de la Hidrodinámica que abarca el estudio del flujo de los fluidos incompresibles, en fase simple (líquida) y en fase doble (líquida y vapor) en condiciones no isotérmicas, con transferencia de calor a través del contorno y/o con fuentes internas de calor.

2. DINÁMICA DE GASES: Comprende el estudio del flujo de fluidos compresibles en condiciones isotérmicas y no isotérmicas.

3. MAGNETO FLUIDODINÁMICA Y ELECTRO FLUIDODINÁMICA: Comprende el estudio del flujo de fluidos incompresibles y de fluidos compresibles capaces de interactuar con campos magnéticos o con campos eléctricos. Estos fluidos son aquellos que tienen una conductividad eléctrica no despreciable. La existencia de conductividad eléctrica en un fluido implica la presencia de cargas eléctricas en movimiento en el interior de su masa.

4. REOLOGÍA: Estudia el flujo de sustancias con comportamientos “no newtonianos”.

2.6 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUIDOS

PROPIEDADES TERMODINÁMICAS

PRINCIPALES

Masa específica o densidad de masa

Presión

Temperatura

Energía interna

Entalpía

Entropía

} **Básicas**

SECUNDARIAS

Coeficientes de variación de volumen

Celeridad de la onda acústica

Calores específicos

PROPIEDADES DE TRANSPORTE.

Coeficiente de difusión molecular

Coeficiente de conductividad térmica

Coeficiente de viscosidad molecular dinámica (coeficiente de difusión de cantidad de movimiento)

OTRAS PROPIEDADES.

Coeficiente de tensión superficial

Presión de vaporización o de evaporación

Parámetro de cavitación

2.7 PROPIEDADES FÍSICAS DE INTERÉS EN LA HIDRÁULICA

PROPIEDADES TERMODINÁMICAS.

PRINCIPALES

Masa específica o densidad de masa

Presión

Temperatura

} **Básicas**

SECUNDARIAS

Coefficientes de variación de volumen

Celeridad de la onda acústica

PROPIEDADES DE TRANSPORTE.

Coefficiente de viscosidad molecular dinámica (coeficiente de difusión de cantidad de movimiento)

OTRAS PROPIEDADES.

Coefficiente de tensión superficial

Presión de vaporización o de evaporación

Parámetro de cavitación.

2.8 HIPÓTESIS ADICIONALES DE LA HIDRÁULICA

En los problemas corrientes de la hidráulica (exceptuando los casos de propagación de ondas de choque) el fluido es considerado incompresible (masa específica $\rho =$ **constante**) o más correctamente *cuasi incompresible*.

El flujo se produce en *condiciones isotérmicas* (o *cuasi-isotérmicas*, sin transferencia de calor a través de los contornos y sin fuentes internas de calor.

El único *campo de fuerzas* actuante sobre el fluido es el *gravitatorio* y lo supone uniforme.

2.9 PROBLEMAS DE LA HIDRÁULICA (Líquidos en el campo gravitatorio)

FLUJO DE LÍQUIDOS

- En conductos a presión.
- En canales abiertos.
- En turbomáquinas hidráulicas.
- En medios permeables.

EQUILIBRIO ESTÁTICO DE LÍQUIDOS

- Distribución de presiones en el seno de un líquido.
- Presiones y empuje resultante de líquidos sobre superficies planas y curvas.
- Equilibrio de cuerpos sumergidos y flotantes.
- Estabilidad del equilibrio de cuerpos flotantes.
- Equilibrio estático relativo de líquidos.

2.10 PRINCIPIOS Y ECUACIONES FUNDAMENTALES

PRINCIPIO	ECUACIÓN	SURGE DE
Conservación de la masa.	Ecuación de continuidad.	Balance de masa.
Conservación de la cantidad de movimiento.	Ecuación de la cantidad de movimiento.	Balance de cantidad de movimiento.
Primer principio de la Termodinámica (Conservación de la energía)	Ecuación de la energía.	Balance de energía.
Segundo principio de la Termodinámica.	Ecuación de la entropía	Balance de entropía.

Formas de las ecuaciones fundamentales.

- Para recintos infinitésimos.
- Para recintos finitos (volúmenes de control)

2.11 ECUACIONES FUNDAMENTALES PARA FLUIDOS INCOMPRESIBLES

2.11.1 Ecuaciones para recintos finitos.

ECUACIÓN DE CONTINUIDAD (conservación de la masa)

$$\oiint_A \{\mathbf{v}\} \cdot \mathbf{\check{n}} dA = 0$$

$\{\mathbf{v}\}$ = Velocidades del fluido en el contorno del recinto.

A = Área de la superficie del volumen de control.

Si las distribuciones transversales de la velocidad en las secciones de entrada y salida son unidimensionales, es:

$$\oiint_A \{\mathbf{v}\} \cdot \mathbf{\check{n}} dA = U_1 A_1 + U_2 A_2 + \dots = 0$$

U_i = velocidad media en la sección i ; A_i = Área de la sección i

ECUACIÓN DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO

$$\{F_p^e\} + \{F_\tau^e\} + \{F_m^e\} = \iint_A \{v\} \rho \{v\} x \{dA\}$$

$\{F_p^e\}$, $\{F_\tau^e\}$, $\{F_m^e\}$ = Fuerzas de presión, de fricción viscosa y de masa en el contorno del volumen de control.

Si el flujo es permanente y las distribuciones transversales de velocidad en las secciones de entrada y de salida del volumen de control son unidimensionales, las componentes de la expresión anterior según x, y, z son:

$$(F_p^e)_x + (F_\tau^e)_x + (F_m^e)_x = (\beta U_x \rho Q_v)_2 - (\beta U_x \rho Q_v)_1$$

$$(F_p^e)_y + (F_\tau^e)_y + (F_m^e)_y = (\beta U_y \rho Q_v)_2 - (\beta U_y \rho Q_v)_1$$

$$(F_p^e)_z + (F_\tau^e)_z + (F_m^e)_z = (\beta U_z \rho Q_v)_2 - (\beta U_z \rho Q_v)_1$$

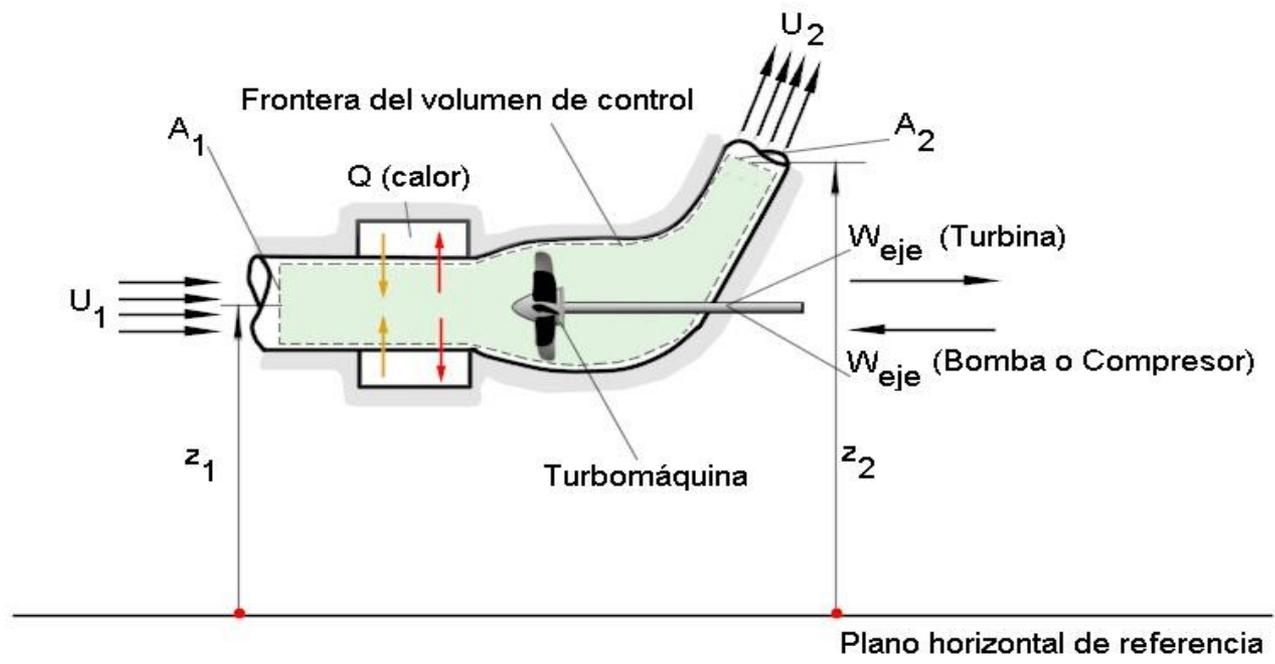
U = Velocidad media del fluido en una sección transversal.

β = Coeficiente de cantidad de movimiento.

ρ = Masa específica del fluido.

Q_v = Caudal volumétrico.

ECUACIÓN DE LA ENERGÍA



Para fluidos compresibles con transferencia de calor, es:

$$\frac{\delta Q}{dt} - \frac{\partial W_{\text{eje}}}{dt} = \iint_A \left(\mathbf{u} + \frac{\mathbf{p}}{\rho} + g \mathbf{z} + \frac{\mathbf{v}^2}{2} \right) \rho (\{\mathbf{v}\} \times \{d\mathbf{A}\})$$

Q = Calor intercambiado con el medio externo.

W_{eje} = Potencia mecánica.

Para fluidos incompresibles con transferencia de calor, es:

$$\left[z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right]_1 = \left[z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right]_2 + \frac{W_{\text{eje}}}{kg_f} - \frac{Q}{kg_f} + \frac{(u_2 - u_1)}{g}$$

z = Cota geométrica

p = Presión.

U²/2g = Energía cinética.

α = Coeficiente de energía cinética.

W_{eje} = Potencia mecánica intercambiada en el eje del rotor.

Q = Calor intercambiado con el medio externo.

u = Energía interna específica.

Para fluidos incompresibles sin transferencia de calor, es:

$$\left[z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right]_1 = \left[z + \frac{p}{\gamma} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right]_2 + \frac{W_{\text{eje}}}{kg_f} + J_{1-2}$$

J₁₋₂ = Pérdida de carga (energía expresada en m) entre las secciones 1 y 2.

2.11.2 Ecuaciones para recintos infinitésimos

- Ecuación de continuidad (conservación de la masa)

$$\mathbf{div} \{ \mathbf{v} \} = 0$$

- Ecuación de cantidad de movimiento (Navier-Stokes).

$$-g\{\nabla h\} - \frac{1}{\rho}\{\nabla p\} + \frac{\mu}{\rho}\{\nabla^2\{\mathbf{v}\}\} = \frac{d\{\mathbf{v}\}}{dt} = \frac{\partial\{\mathbf{v}\}}{\partial t} + (\{\mathbf{v}\} \times \{\nabla\})\{\mathbf{v}\}$$

- Ecuación de la energía (fluidos incompresibles con transferencia de calor).

$$\rho \frac{di}{dt} = \frac{dp}{dt} + \mathbf{div} (\mathbf{k}\{\nabla T\}) + \Phi \quad \text{o bien}$$

$$\rho c_p \frac{dT}{T} = \beta T \frac{dp}{dt} + \mathbf{div} (\mathbf{k} \{ \nabla T \}) + \Phi \quad \text{donde} \quad \beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p$$

- | | |
|--|--|
| i = Entalpía específica del fluido. | Φ = Función de disipación. |
| p = Presión. | \mathbf{k} = Conductividad térmica. |
| T = Temperatura. | β = Coeficiente de dilatación térmica. |
| ρ = Masa específica del fluido. | μ = Viscosidad dinámica del fluido. |
| c_p = Calor específico del fluido a presión constante. | |

Si la escala de velocidades del flujo hidrodinámico (\mathbf{e}_v) se hace más pequeña, mientras que la transferencia de calor al fluido sigue siendo importante, la energía cinética se hace mucho más pequeña que la variación de la entalpía $d\mathbf{i} = c_p d\mathbf{T}$.

Dado que tanto $d\mathbf{p} / dt$ como Φ son del mismo orden que \mathbf{v} , el límite para bajas velocidades (flujo incompresible), la ecuación de la energía adopta la forma siguiente:

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} \cong \text{div}(\mathbf{k} \{ \nabla T \})$$

Si la conductividad térmica \mathbf{k} es constante, la anterior se transforma en:

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} \cong \mathbf{k} \nabla^2 T$$

c_p = Calor específico del fluido a presión constante.

3

CONVERSIÓN DE ENERGÍA

3.1 MÁQUINAS

Una forma de energía puede ser convertida en otra mediante el empleo de ciertos dispositivos denominados *máquinas*.

MÁQUINAS

Dispositivos capaces de convertir una clase de energía en otra
y
realizar ciertas operaciones.

3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS DE MÁQUINAS

- Máquinas Motrices o Motores **(Motores hidráulicos)**
- Máquinas Operadoras **(Generadores Eléctricos)**

4

MOTORES HIDRÁULICOS

4.1 TURBOMOTORES HIDRÁULICOS

TURBINAS HIDRÁULICAS

CLASIFICACIÓN

Turbinas de acción.

Acción directa de una corriente a chorro libre sobre los álabes de una rueda.

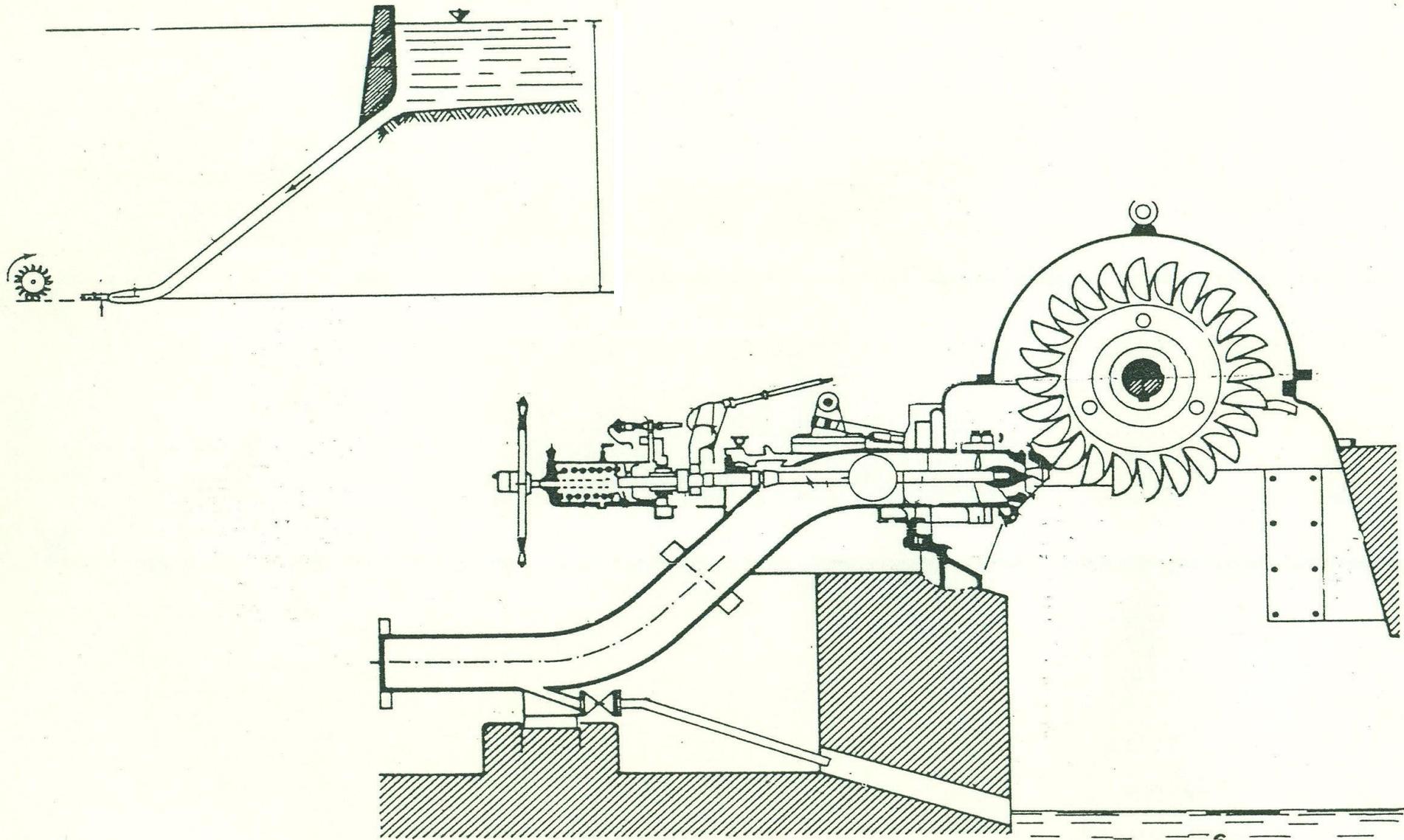
- **Turbina Pelton**

Turbinas de reacción o de contrapresión.

- **Turbina Francis**
- **Turbina Francis con rotor Deriaz**
- **Turbina Kaplan**
- **Turbinas bulbo, pozo y tubulares**

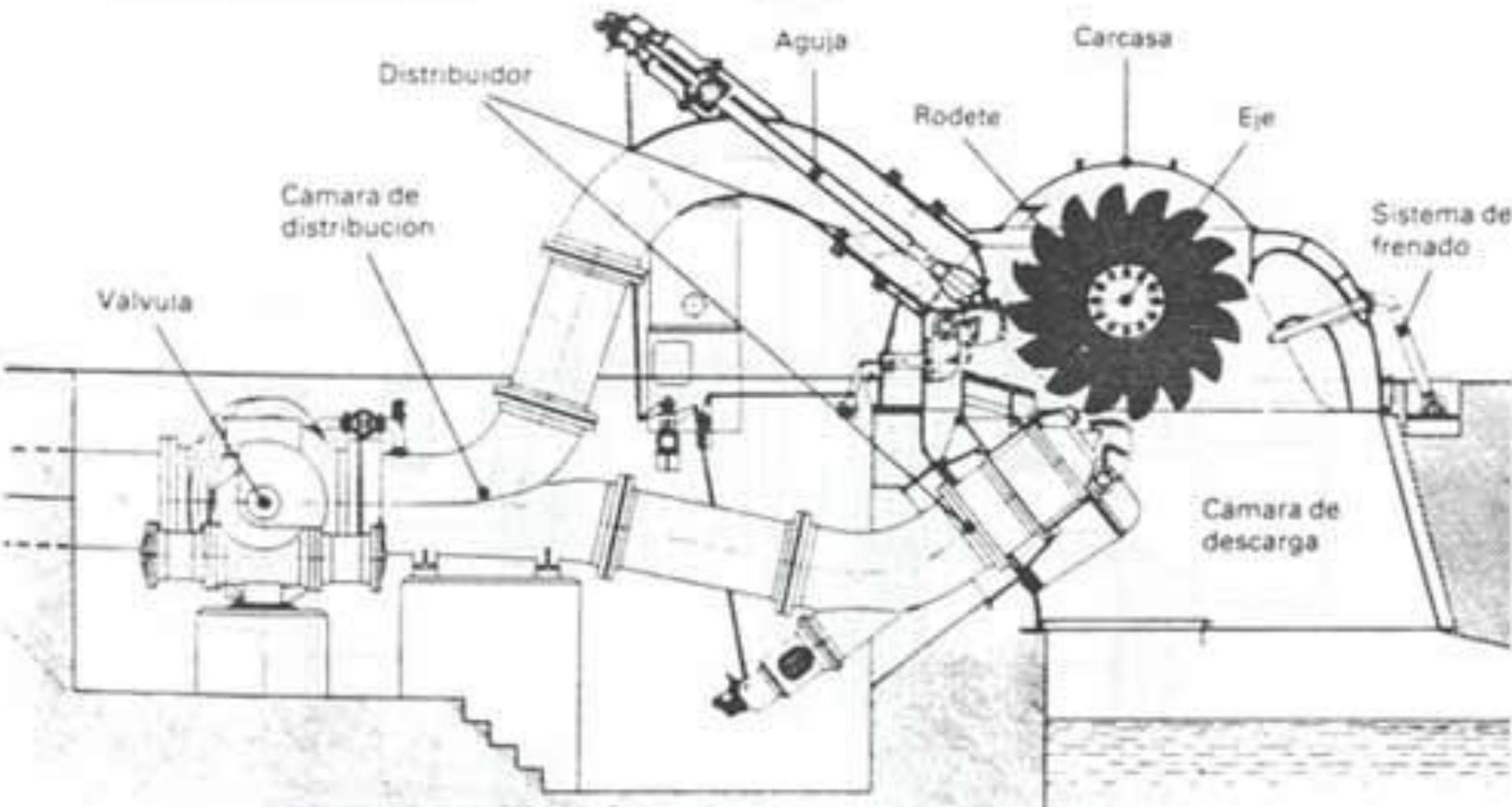
TURBINAS PELTON

(grandes desniveles y bajos caudales)



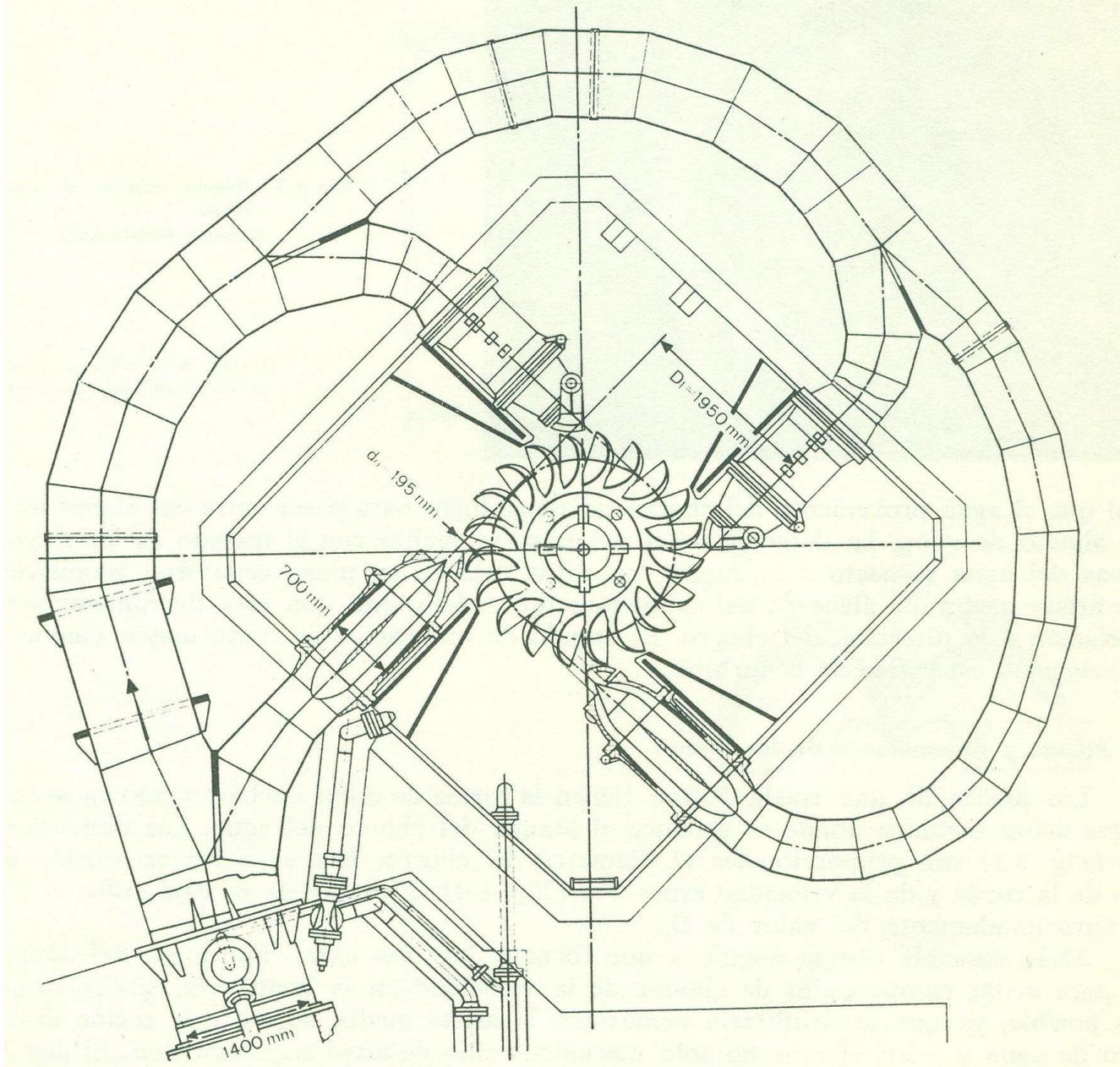
TURBINA PELTON CON 1 INYECTOR

Desde la salida del inyector, durante su pasaje por el rotor y a la salida, el agua se encuentra a la presión atmosférica

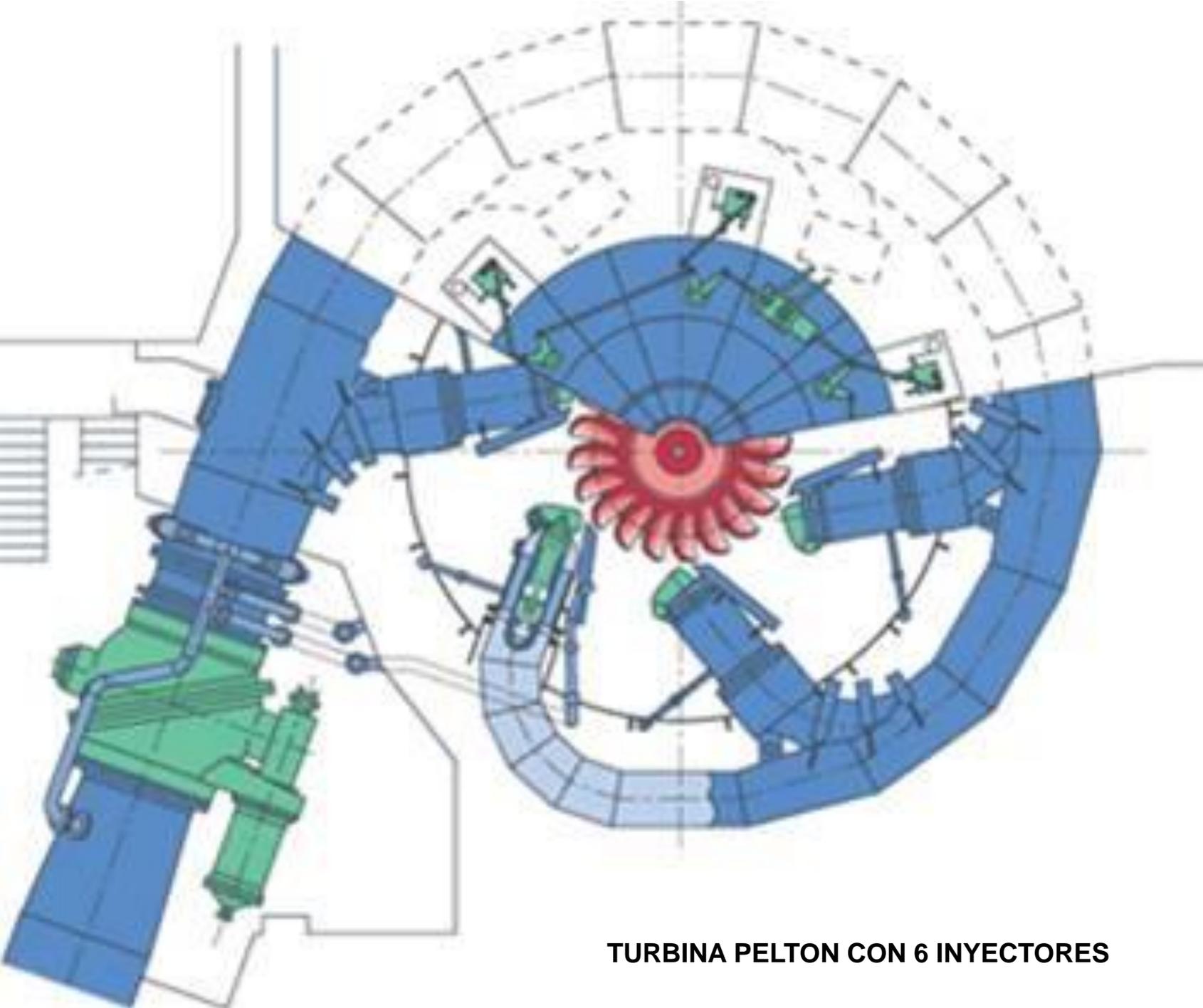


TURBINA PELTON CON 2 INYECTORES

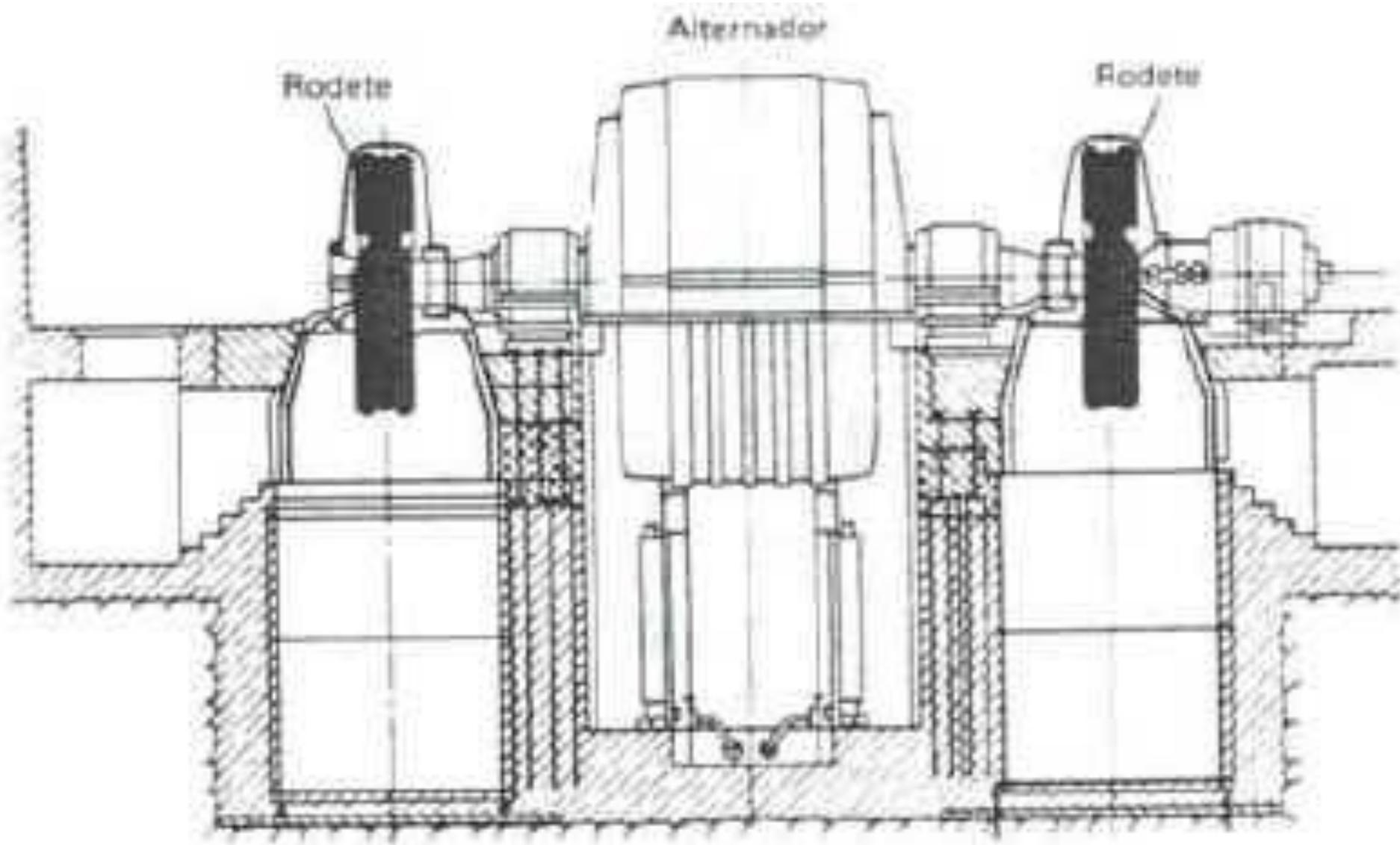
Desde la salida del inyector, durante su pasaje por el rotor y a la salida, el agua se encuentra a la presión atmosférica



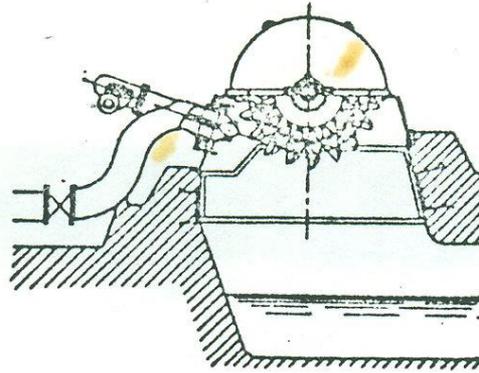
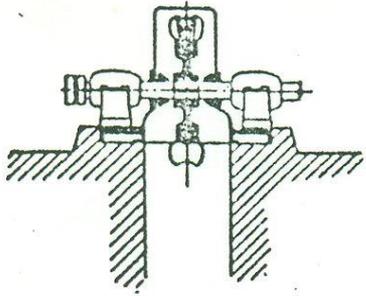
TURBINA PELTON CON 4 INYECTORES



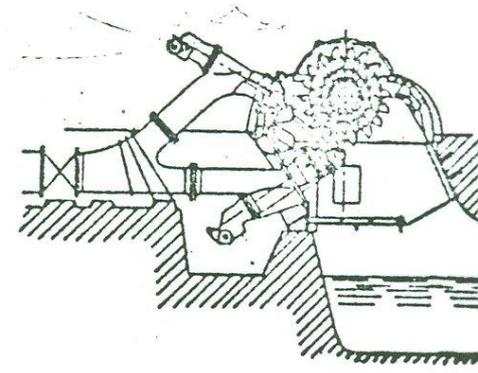
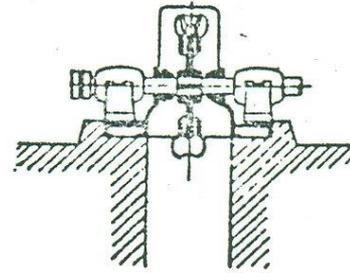
TURBINA PELTON CON 6 INYECTORES



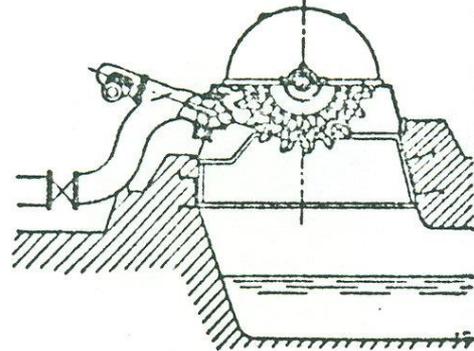
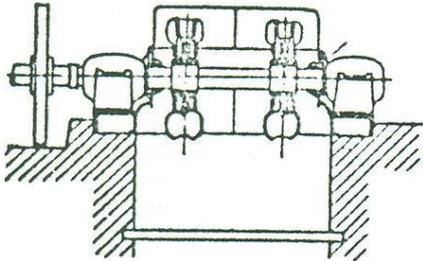
TURBINA PELTON CON 2 ROTORES



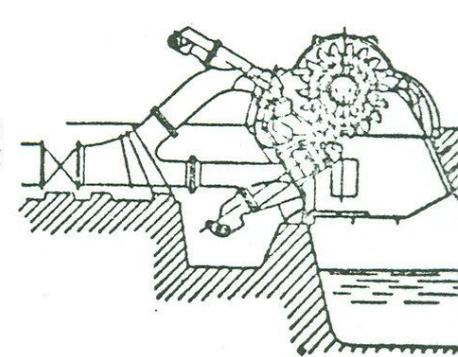
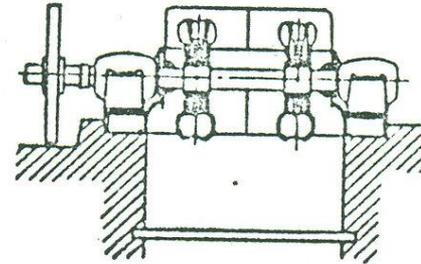
P₁ N₁ — H Eje horizontal, una rueda y un chorro



P₁ N₂ — H Eje horizontal, una rueda y dos chorros



P₂ N₂ — H Eje horizontal, dos ruedas y dos chorros



P₂ N₄ — H Eje horizontal. dos ruedas y 4 chorros

DISPOSICIONES DE TURBINAS PELTON DE EJE HORIZONTAL

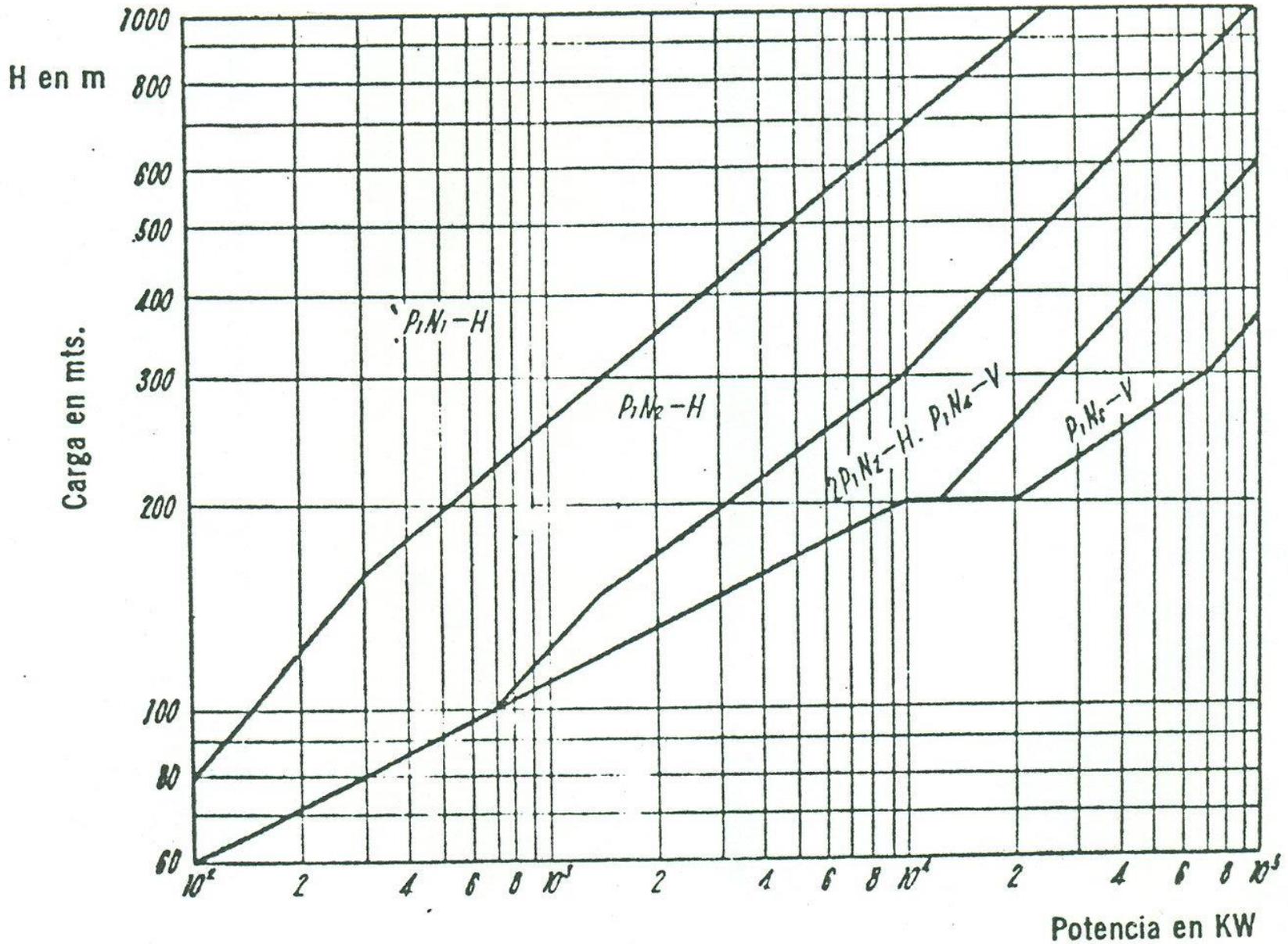
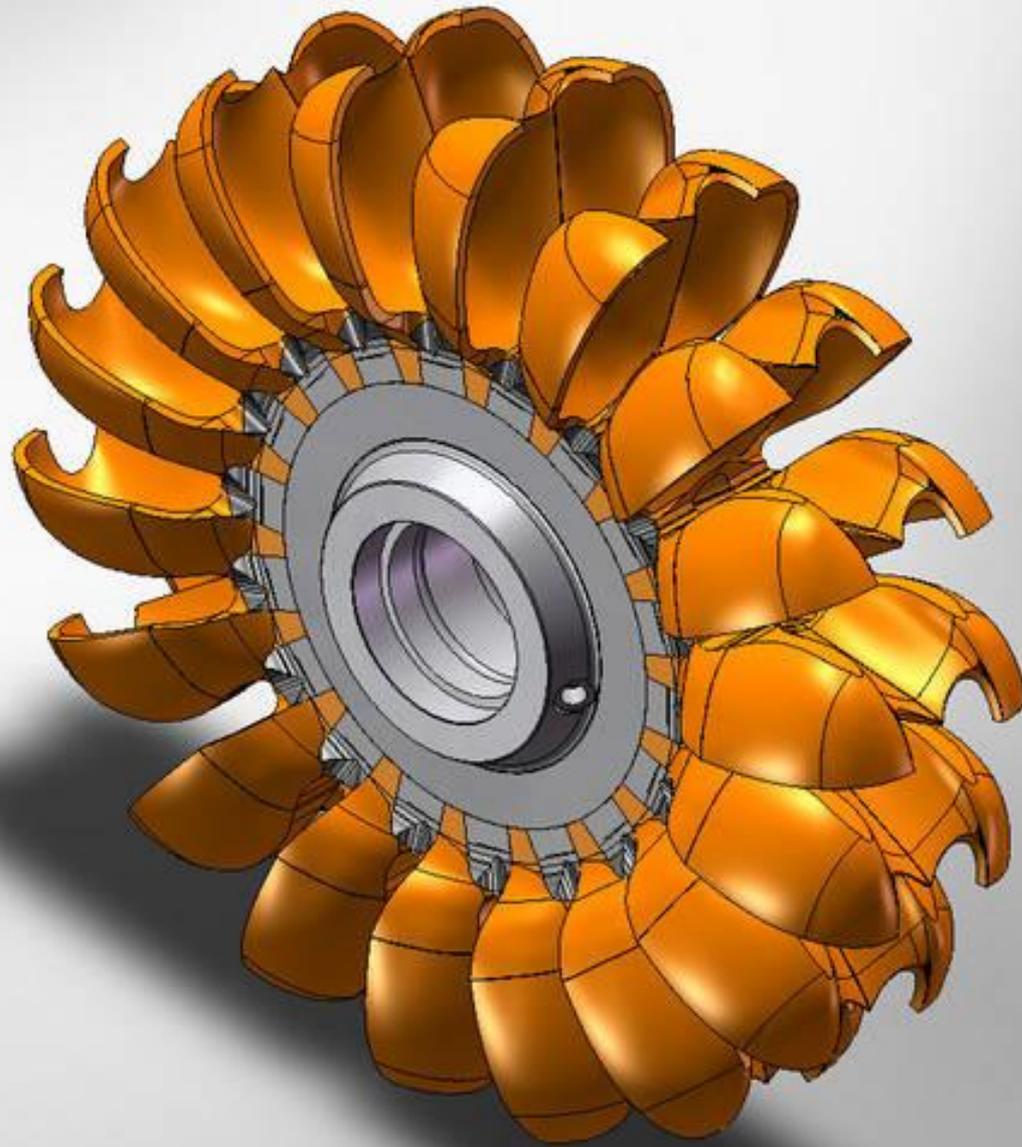


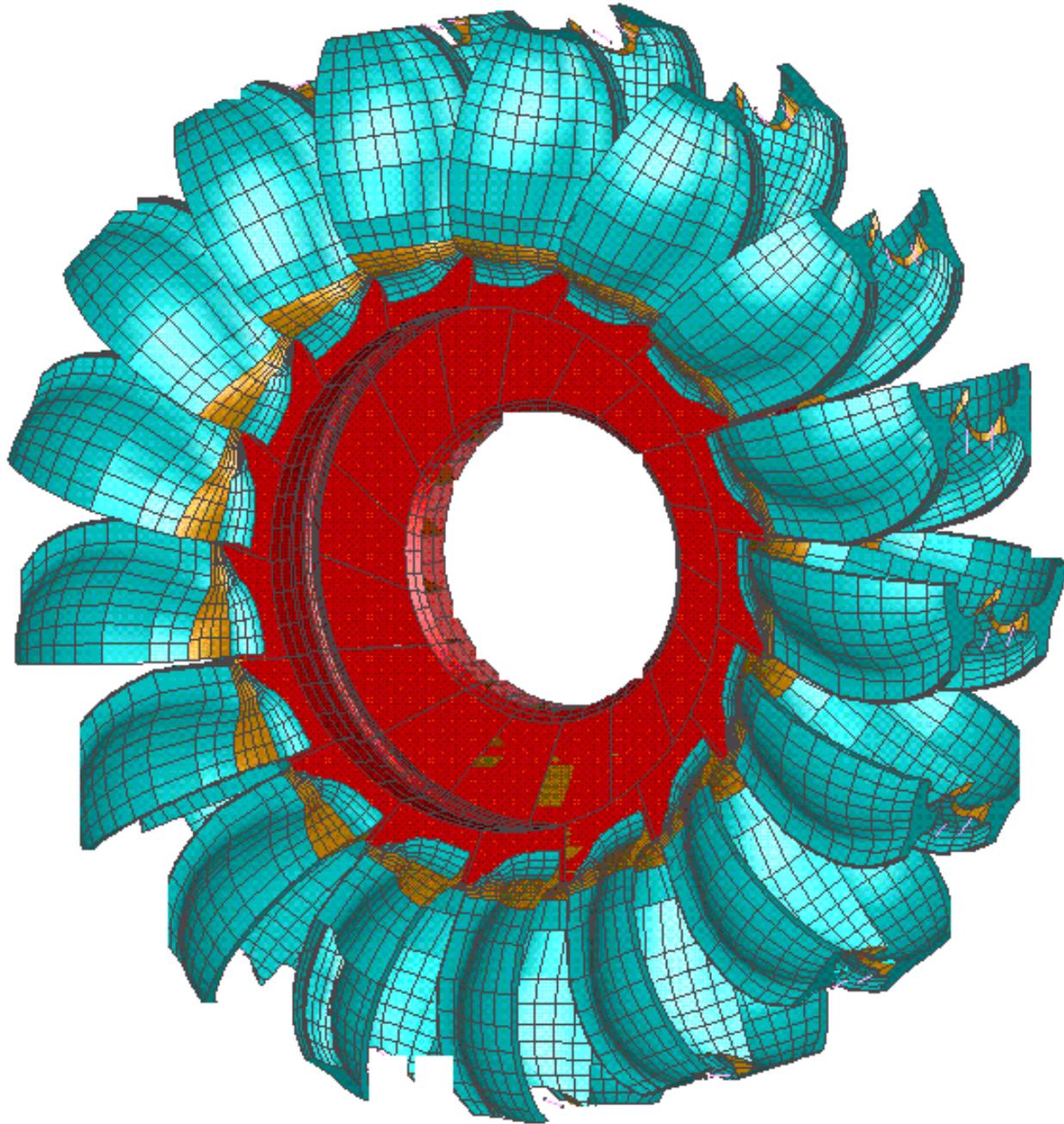
DIAGRAMA PARA SELECCIONAR LA DISPOSICIÓN MÁS CONVENIENTE
(Hitachi)



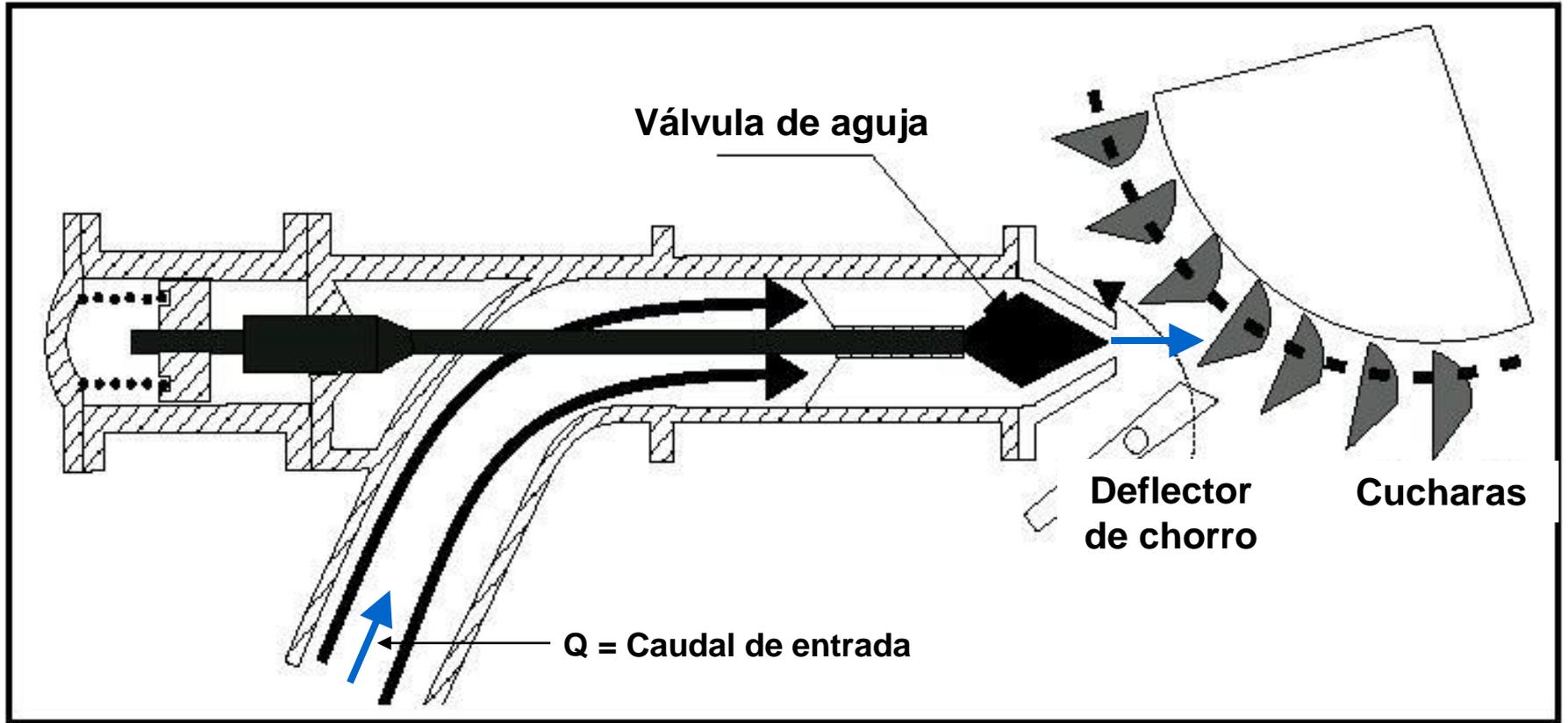
ROTOR PELTON



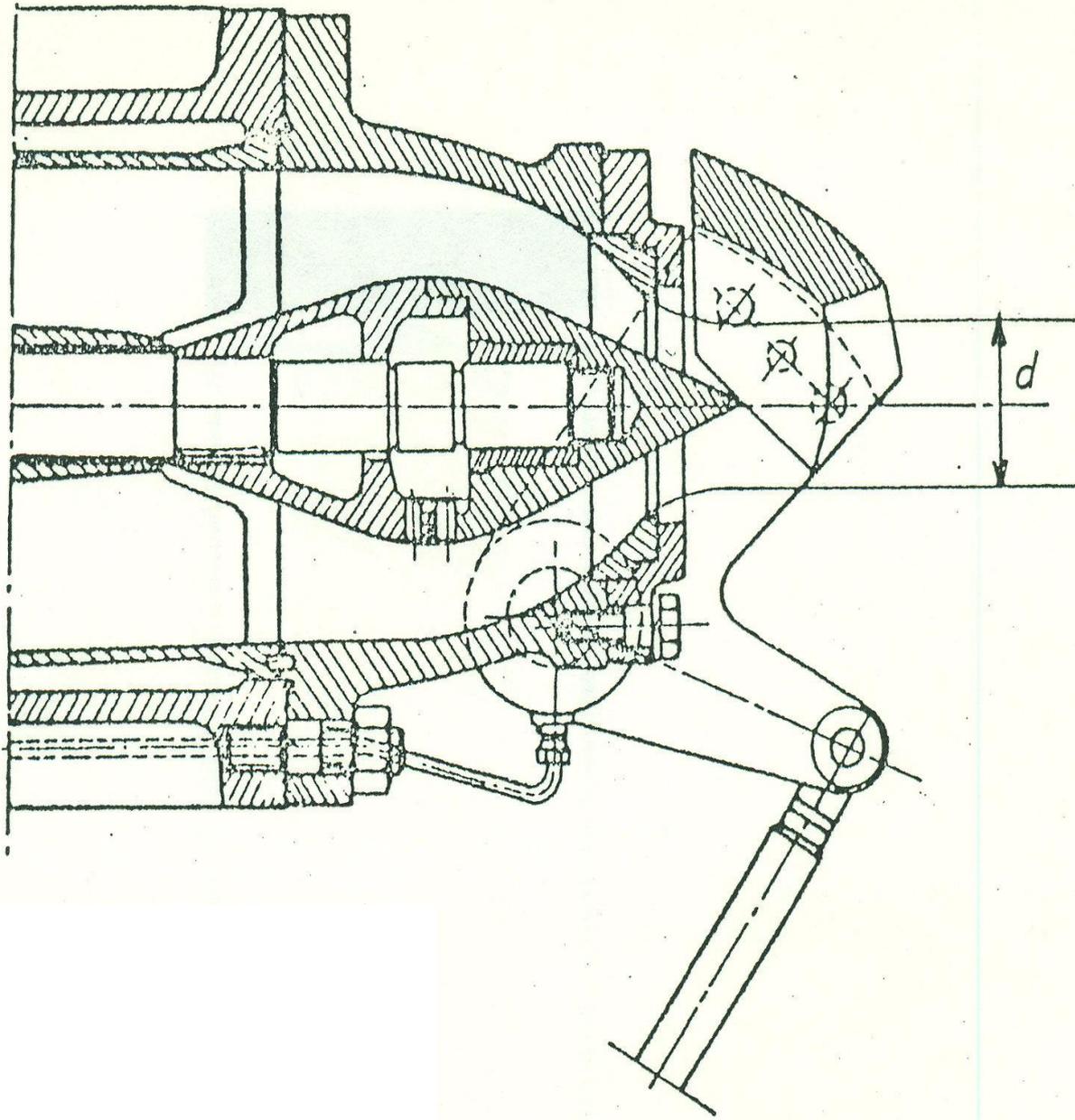
ROTOR PELTON



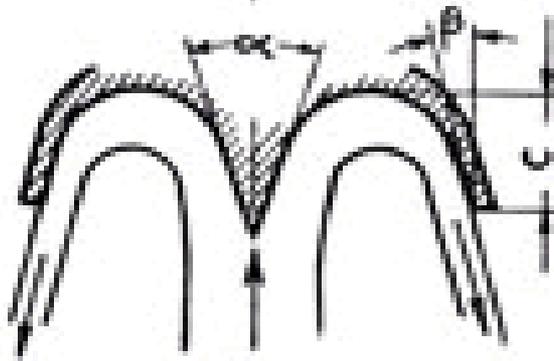
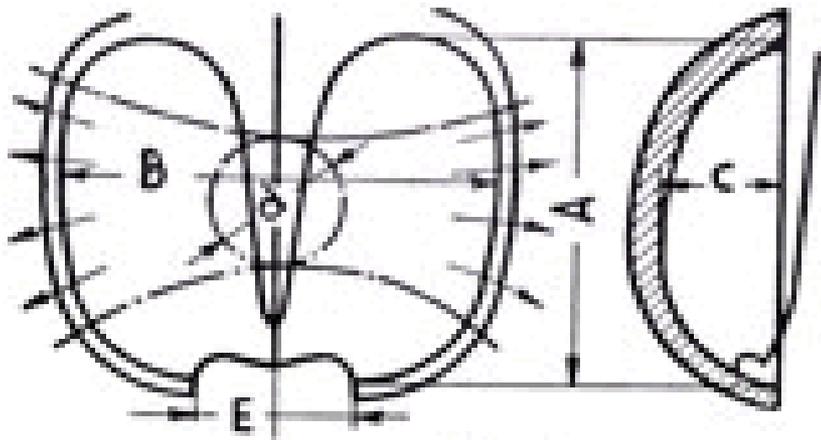
ROTOR PELTON



CONDUCTO DE PRESIÓN, INYECTOR, VÁLVULA DE AGUJA, DEFLECTOR DE CHORRO Y ROTOR



INYECTOR, VÁLVULA DE AGUJA Y DEFLECTOR DE CHORRO

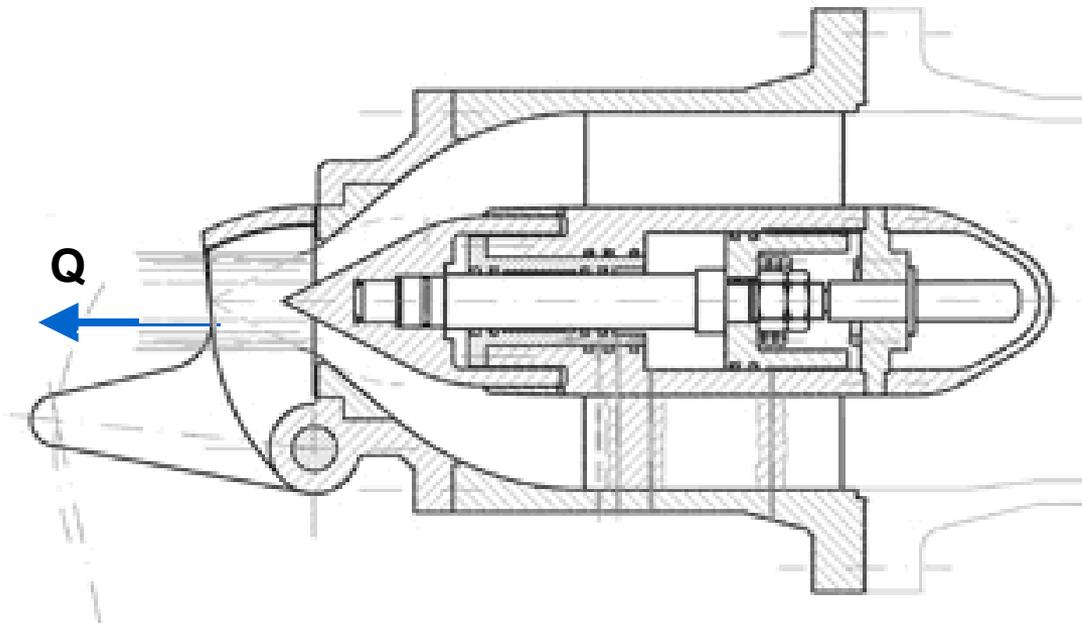


$\frac{1}{2}Q$

Q

$\frac{1}{2}Q$

DOBLE CUCHARA



INYECTOR, AGUJA Y DEFLECTOR DE CHORRO

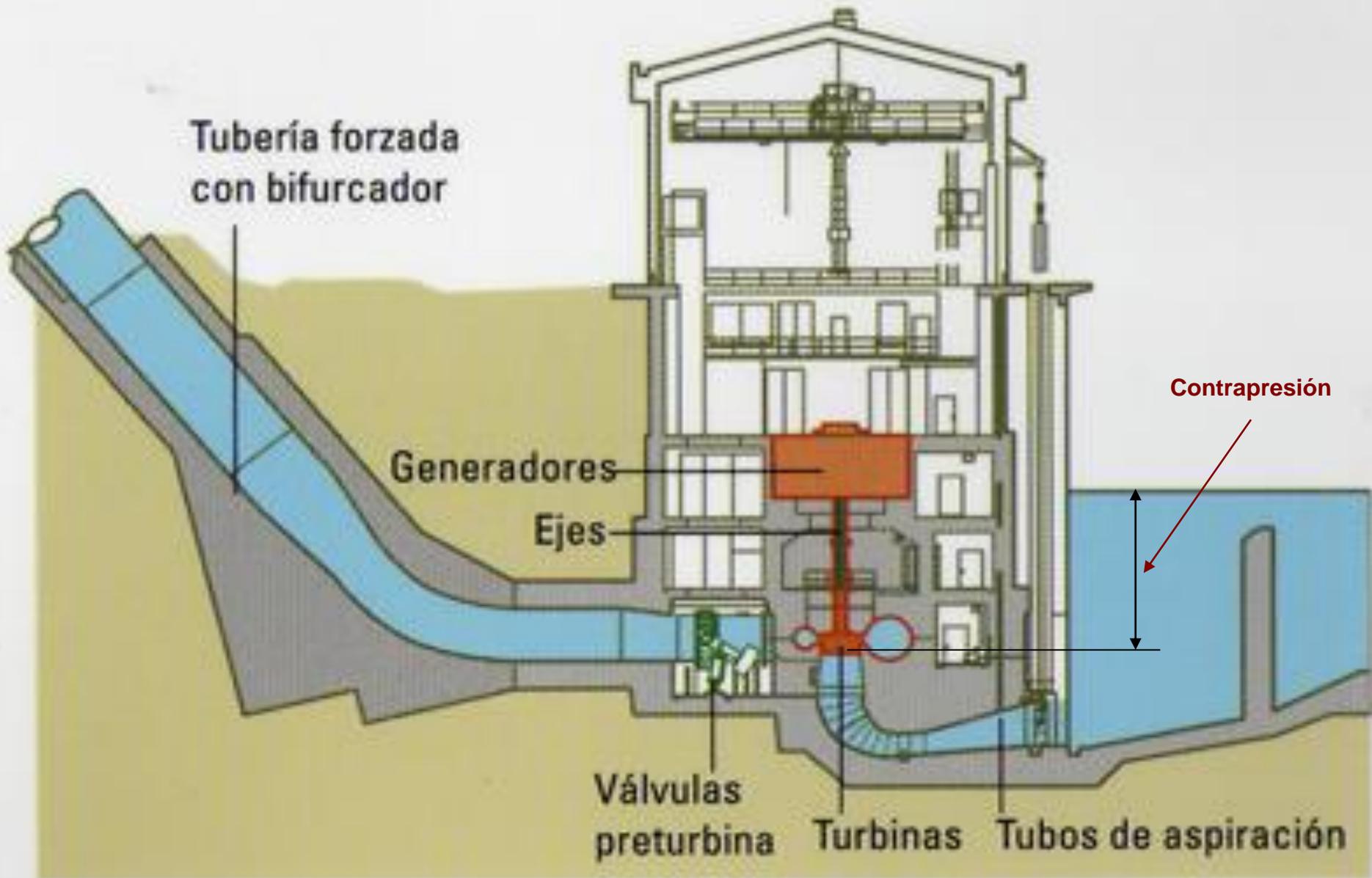


CUCHARAS PELTON

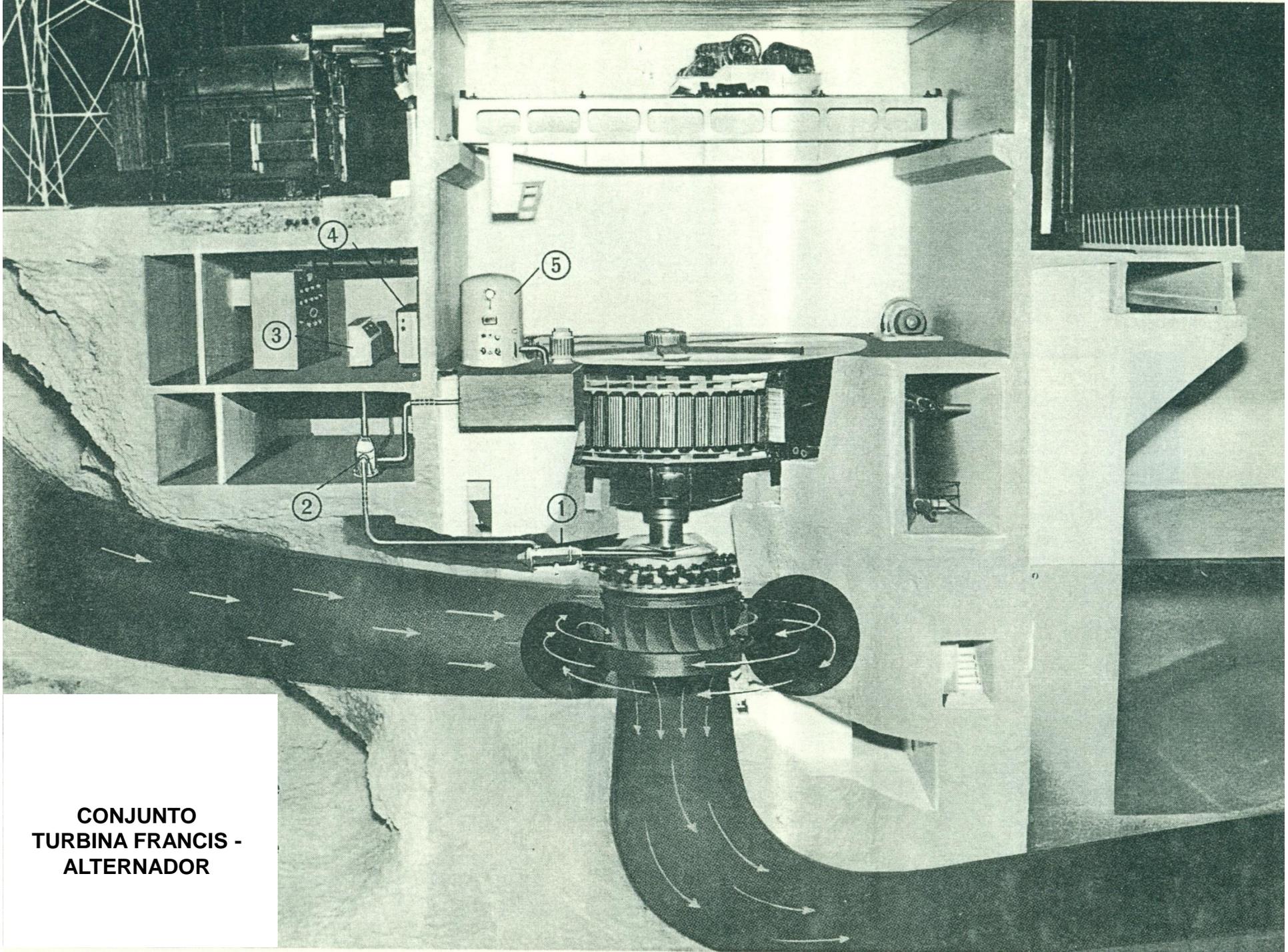


TURBINAS FRANCIS

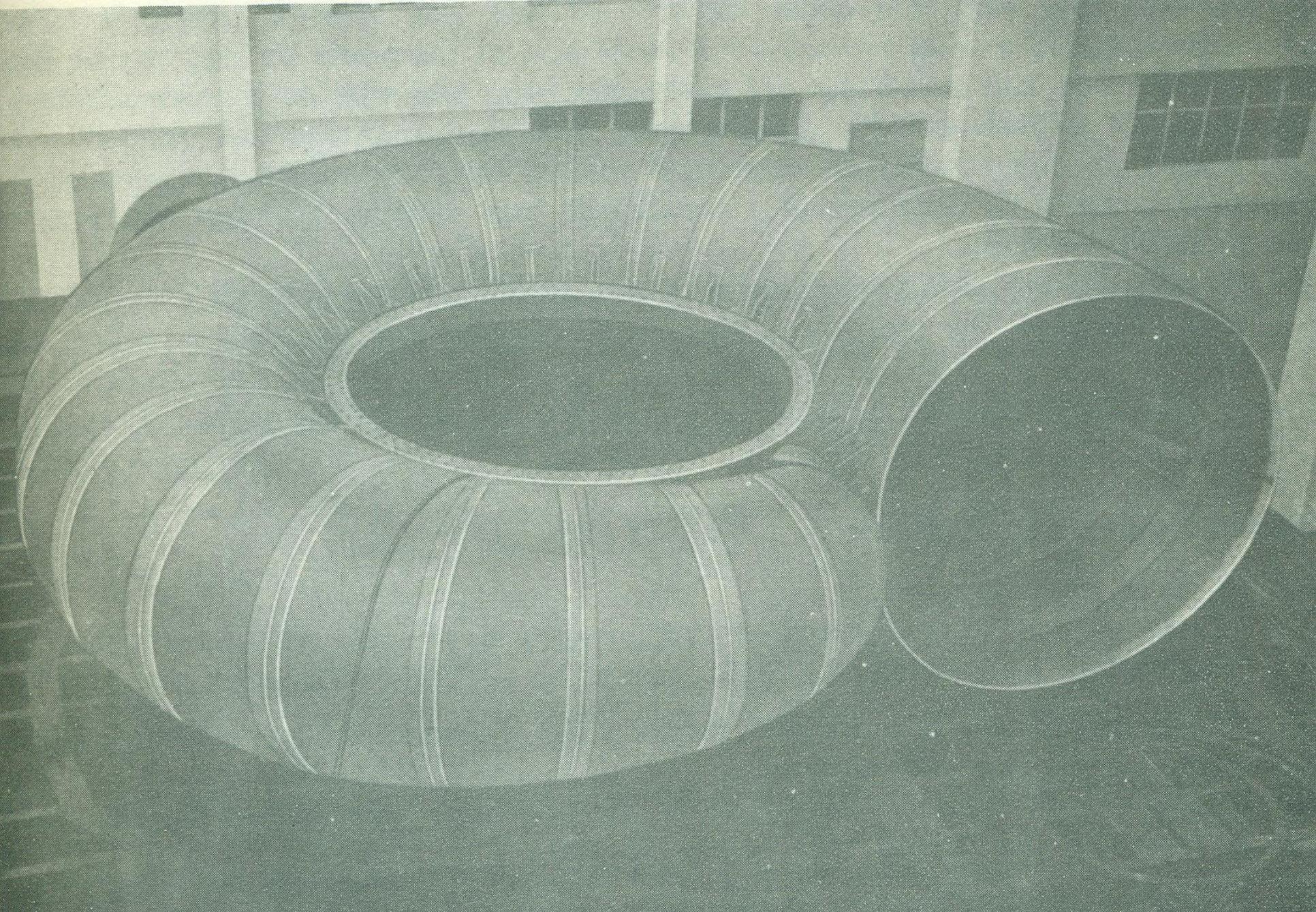
(rango intermedio amplio de desniveles y caudales)



CORTE DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CON TURBINAS FRANCIS



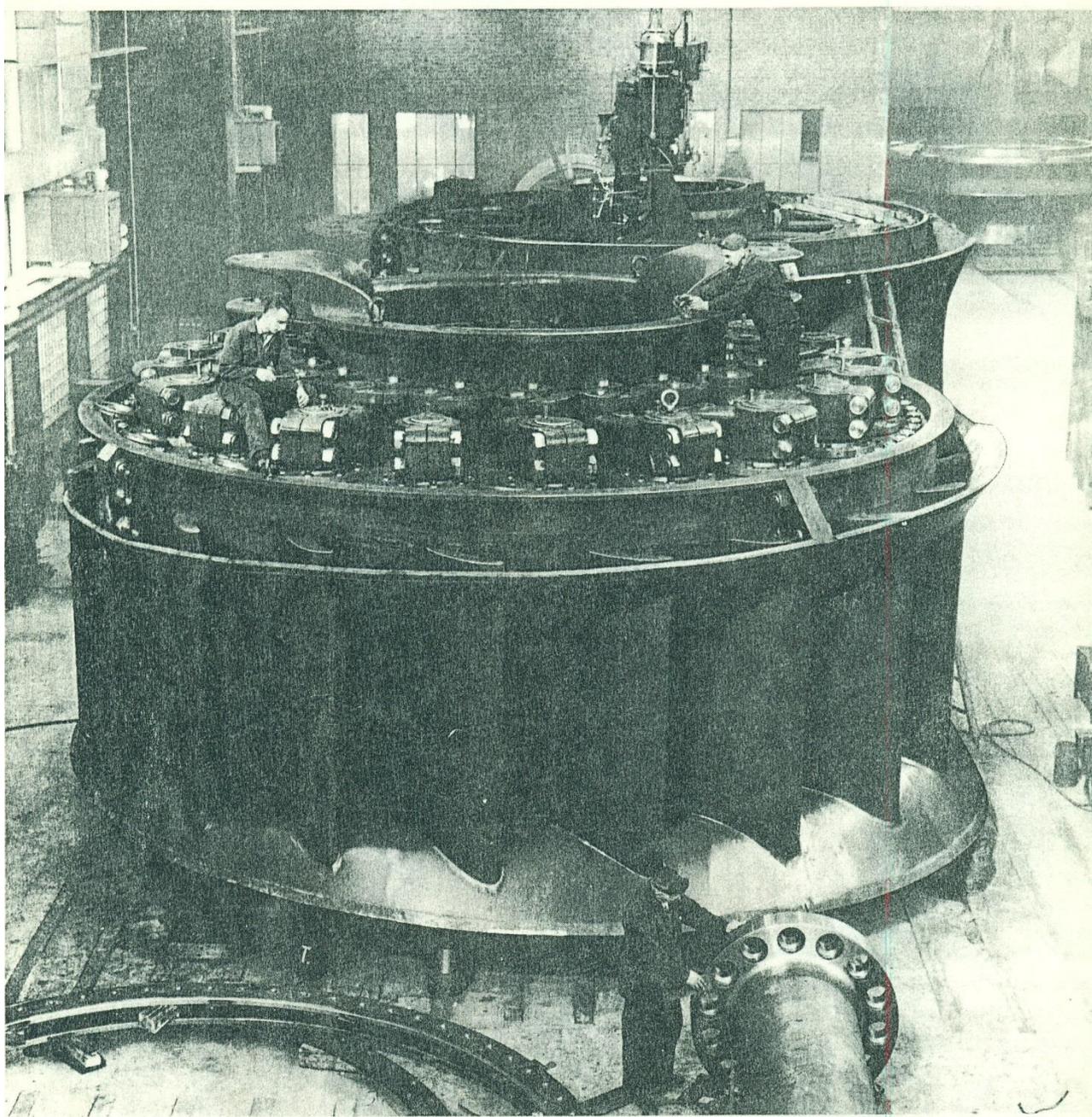
**CONJUNTO
TURBINA FRANCIS -
ALTERNADOR**



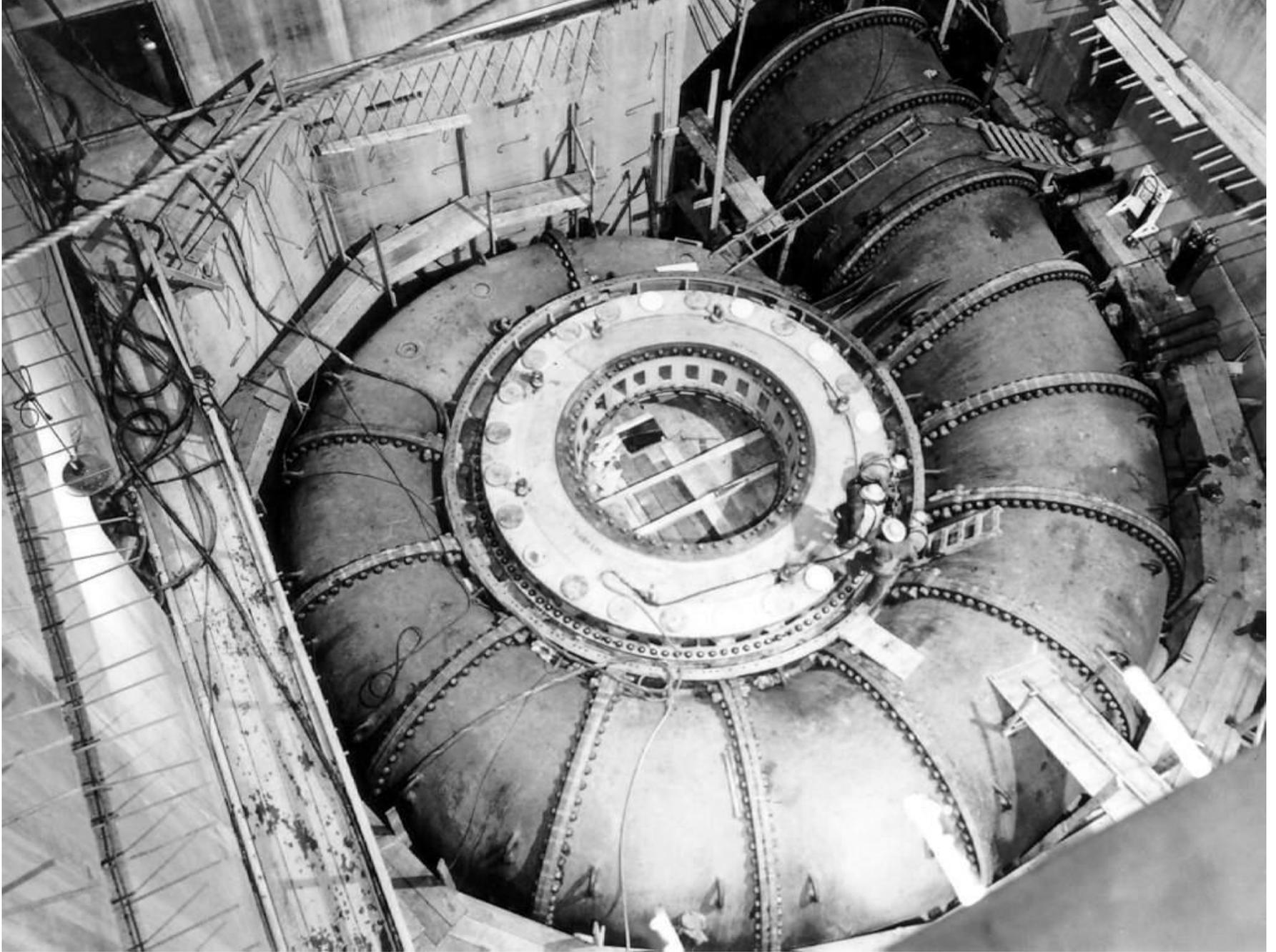
CÁMARA ESPIRAL DE UNA TURBINA FRANCIS



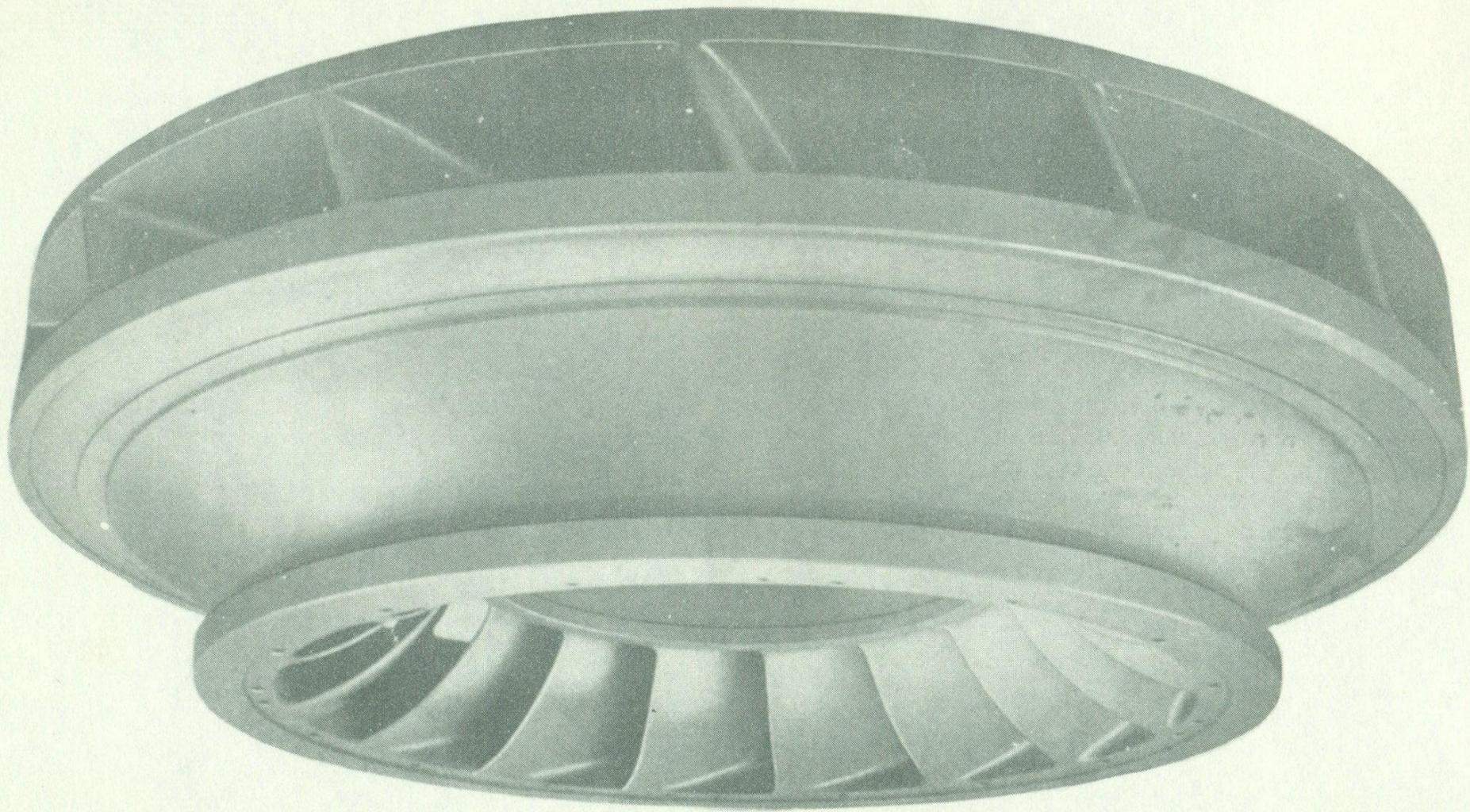
CÁMARA ESPIRAL DE UNA TURBINA FRANCIS



DISTRIBUIDOR DE UNA TURBINA FRANCIS



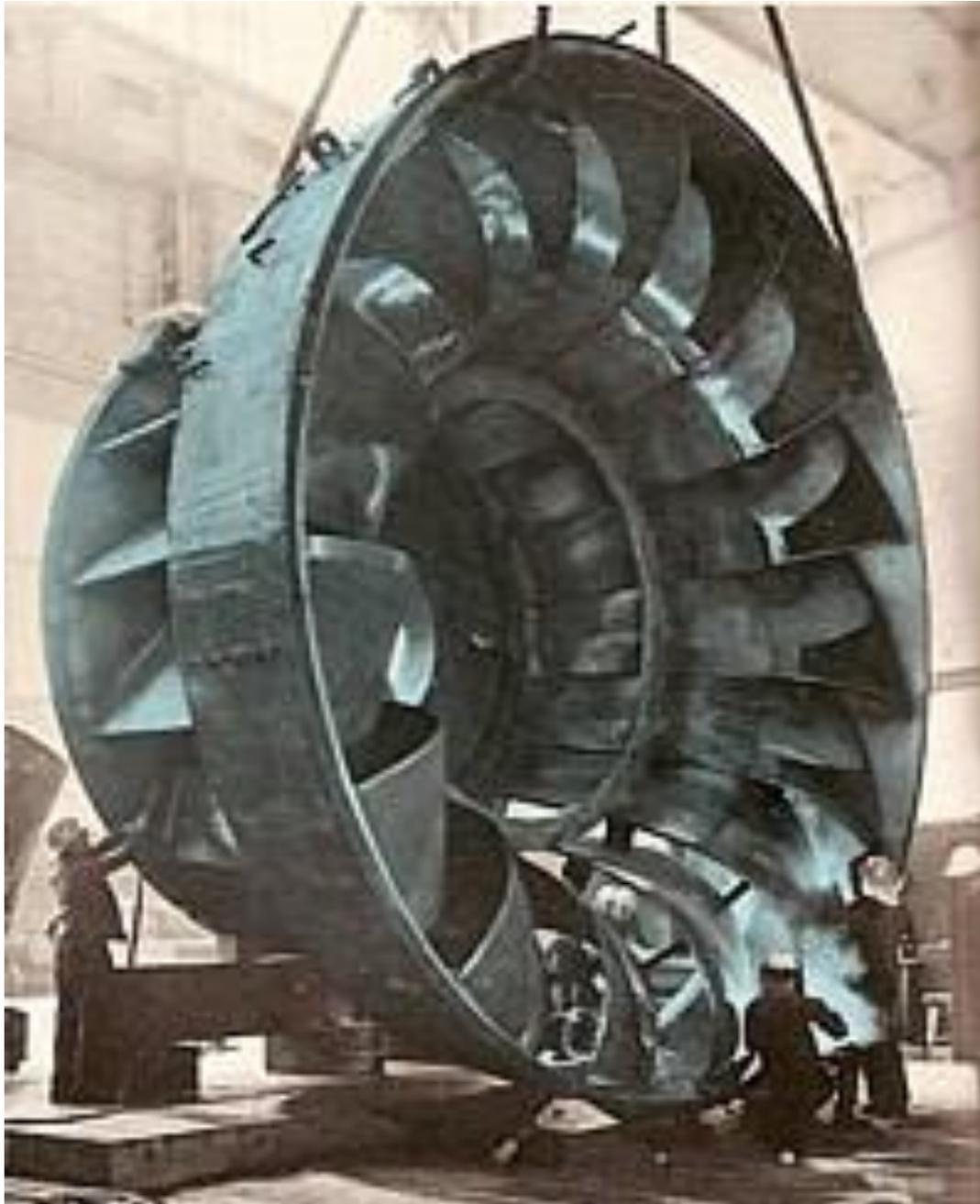
CÁMARA ESPIRAL Y DISTRIBUIDOR DE UNA TURBINA FRANCIS



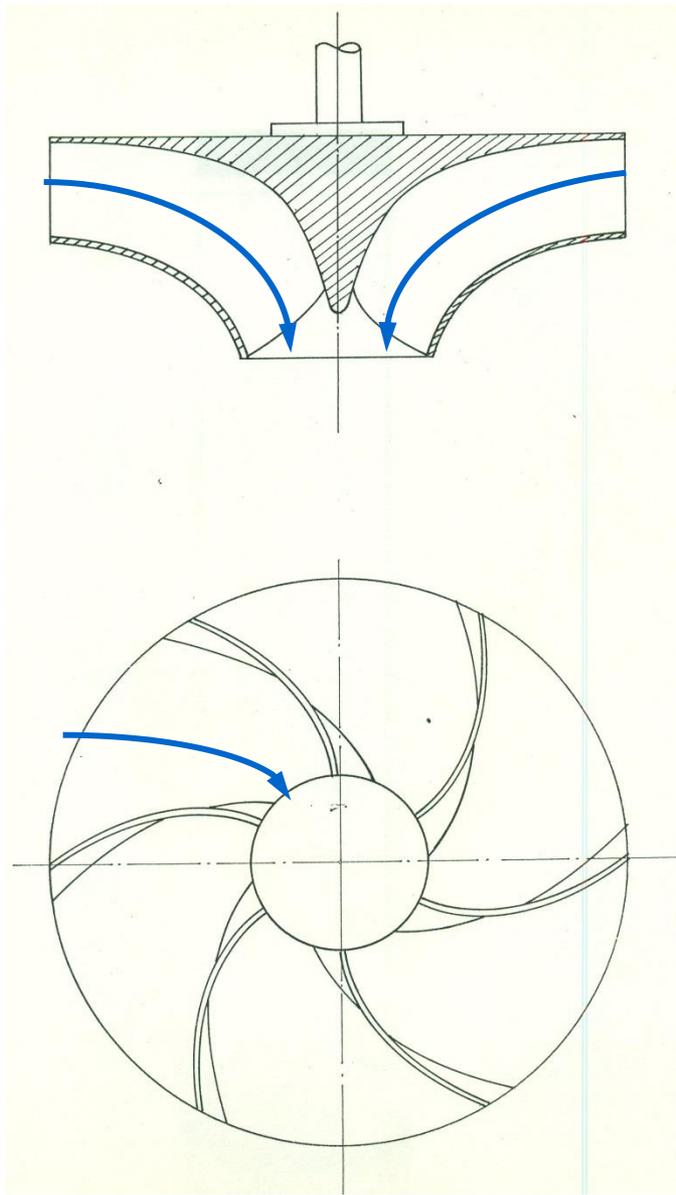
ROTOR DE UNA TURBINA FRANCIS LENTA



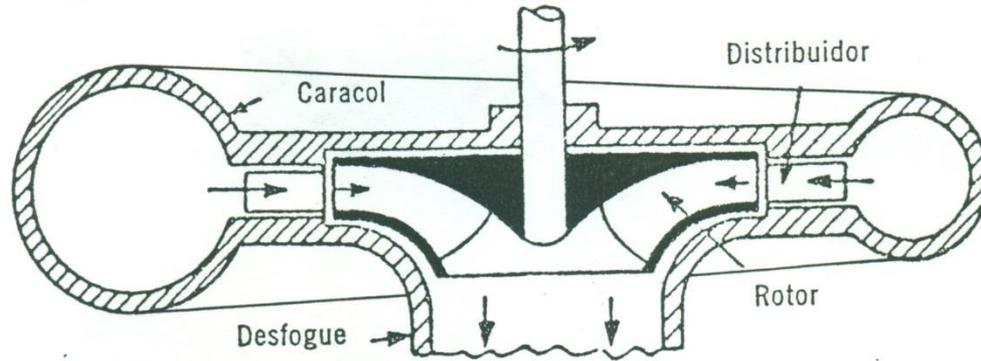
ROTOR DE UNA TURBINA FRANCIS RÁPIDA



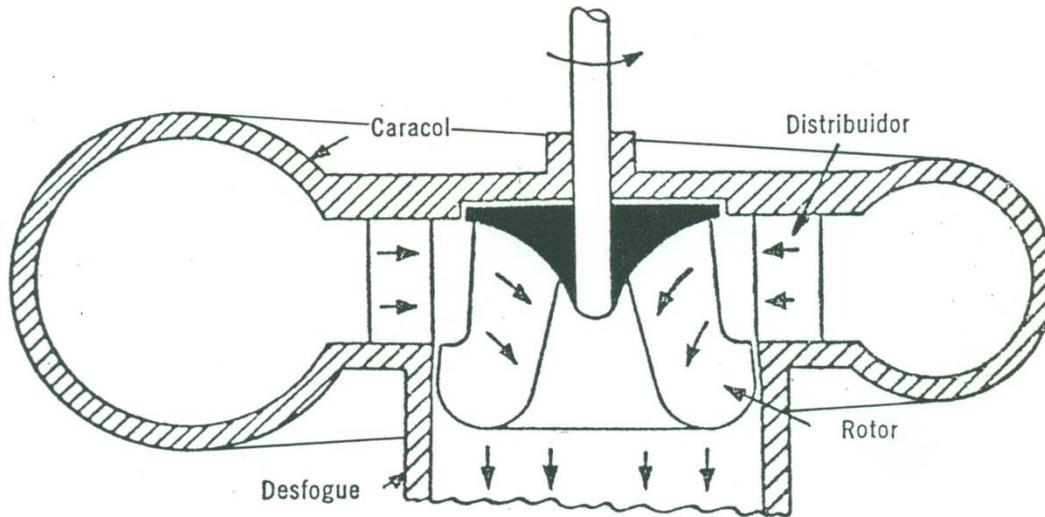
ROTOR DE UNA TURBINA FRANCIS RÁPIDA



CORTE DE UN ROTOR FRANCIS



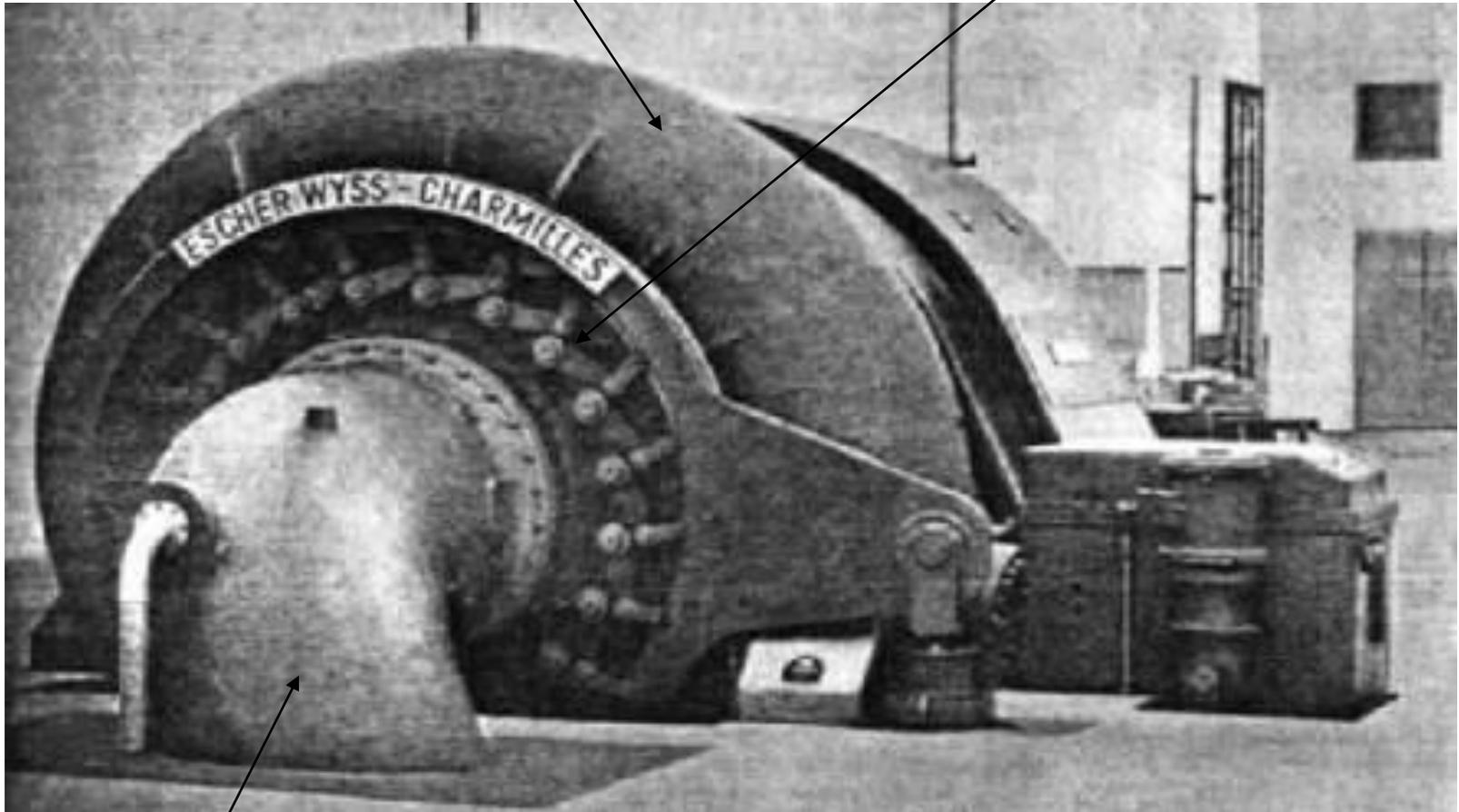
TURBINA FRANCIS LENTA



TURBINA FRANCIS RÁPIDA

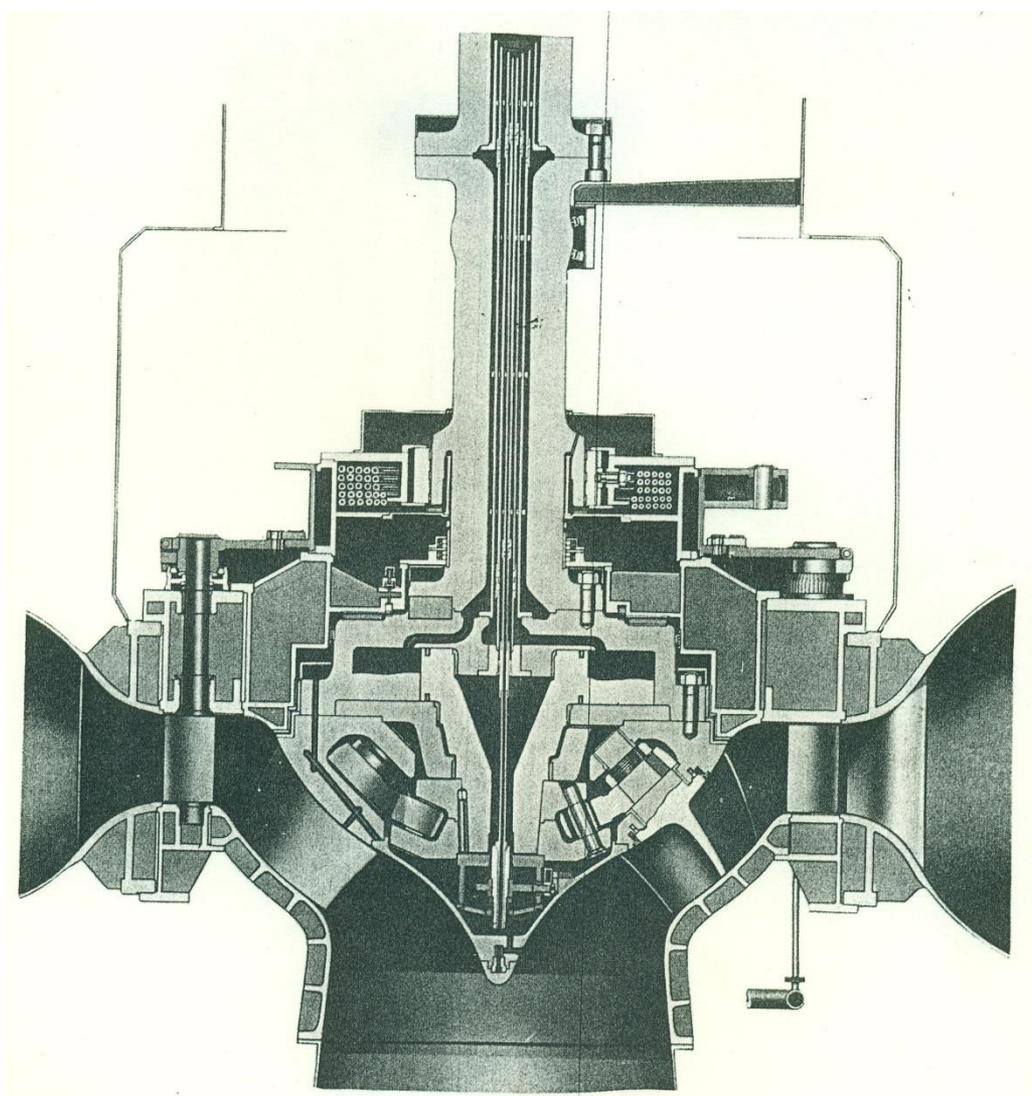
Cámara espiral

Distribuidor



TURBINA FRANCIS DE EJE HORIZONTAL

Conducto de descarga



TURBO BOMBA CON ROTOR DERIAZ
Mitsubishi Electric Co.

(Instalada en la central de acumulación por bombeo Takane N°1, Japón)

Potencia como turbina = 87300 kW

Potencia como bomba = 99400 kW

Altura como turbina = 136 m

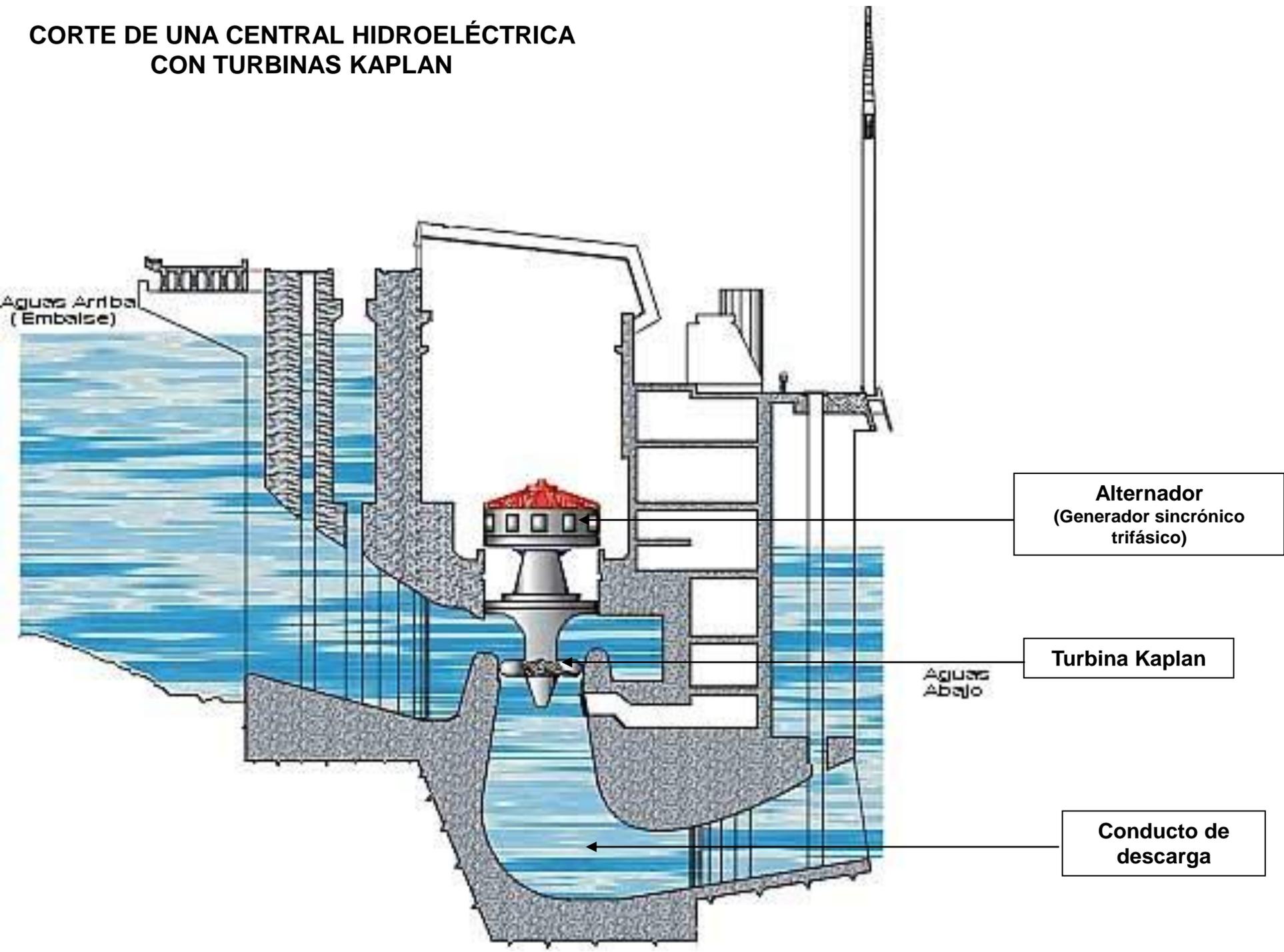
Altura como bomba = 138 m

Velocidad de rotación $n = 277$ rpm

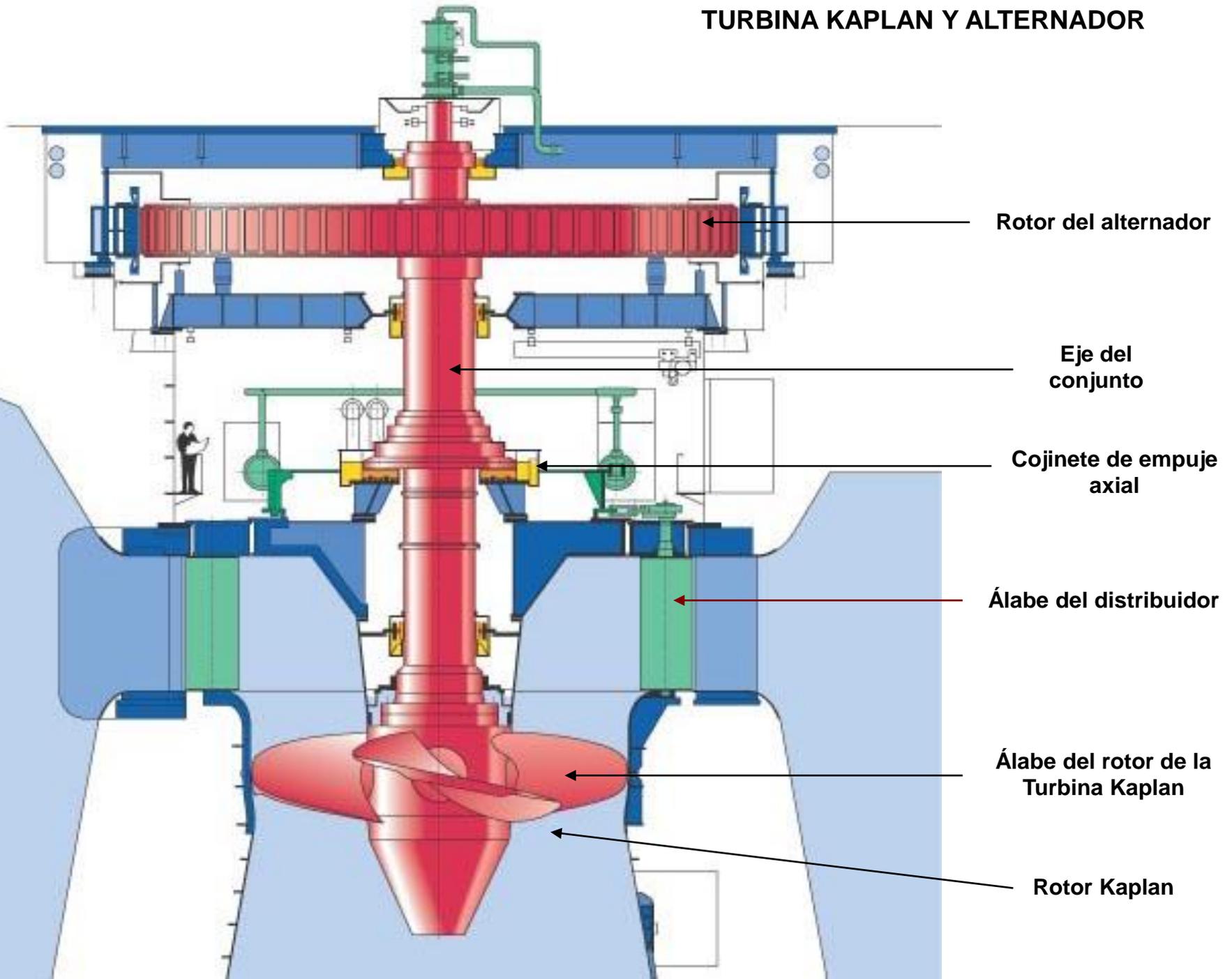
TURBINAS KAPLAN

(bajos desniveles y grandes caudales)

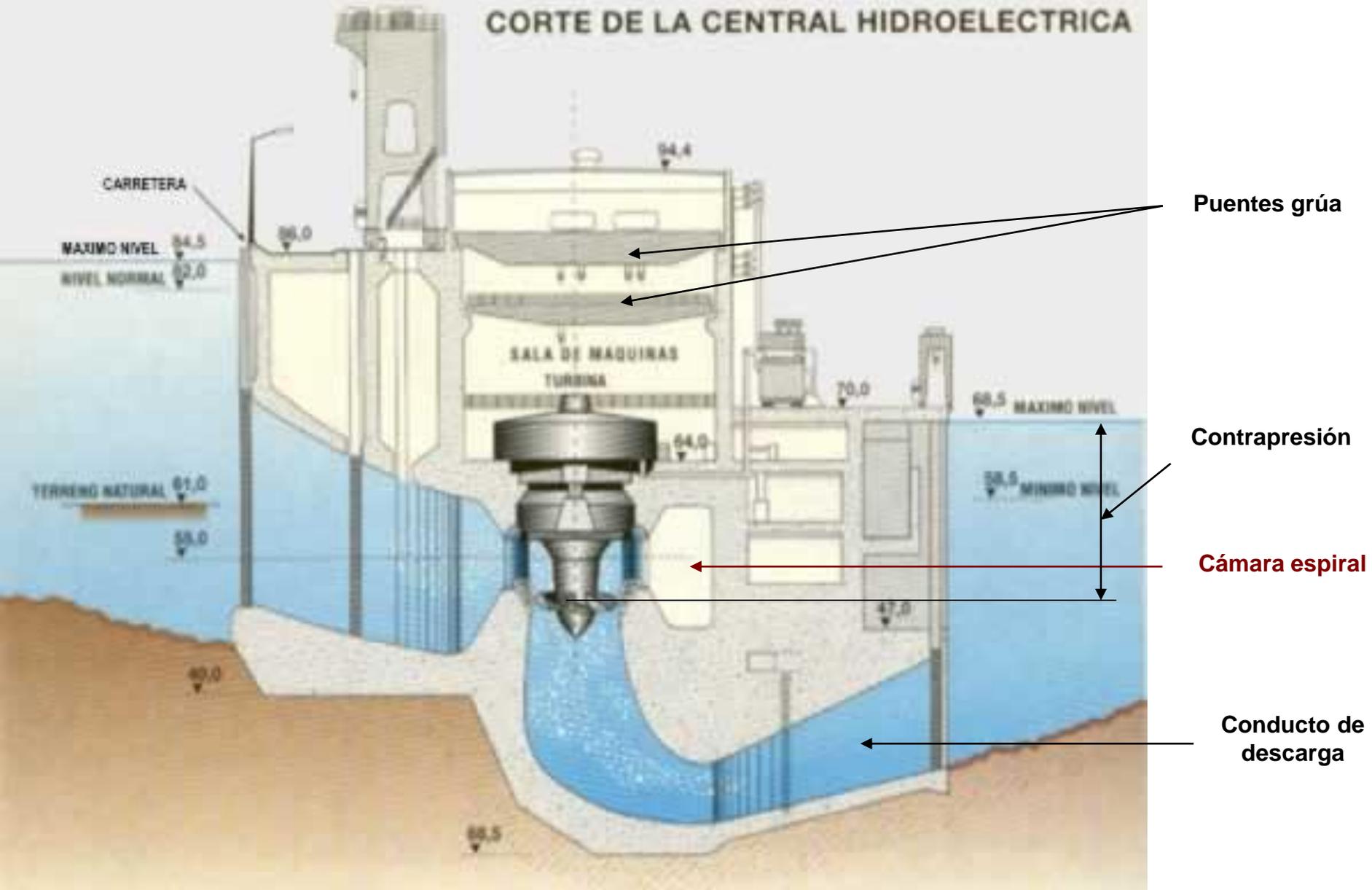
CORTE DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CON TURBINAS KAPLAN



TURBINA KAPLAN Y ALTERNADOR



CORTE DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA



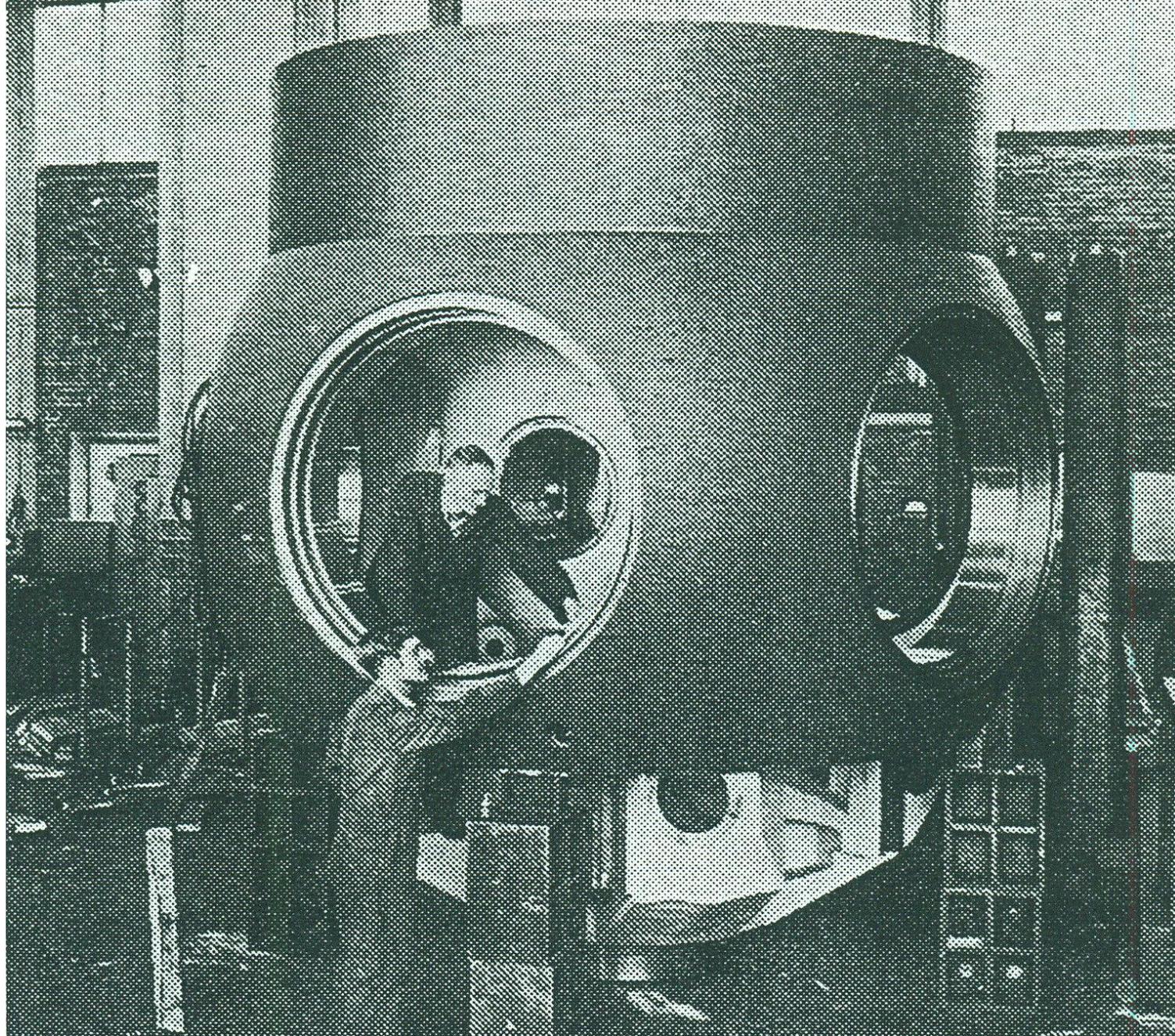
CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE YACIRETÁ

Turbinas Kaplan

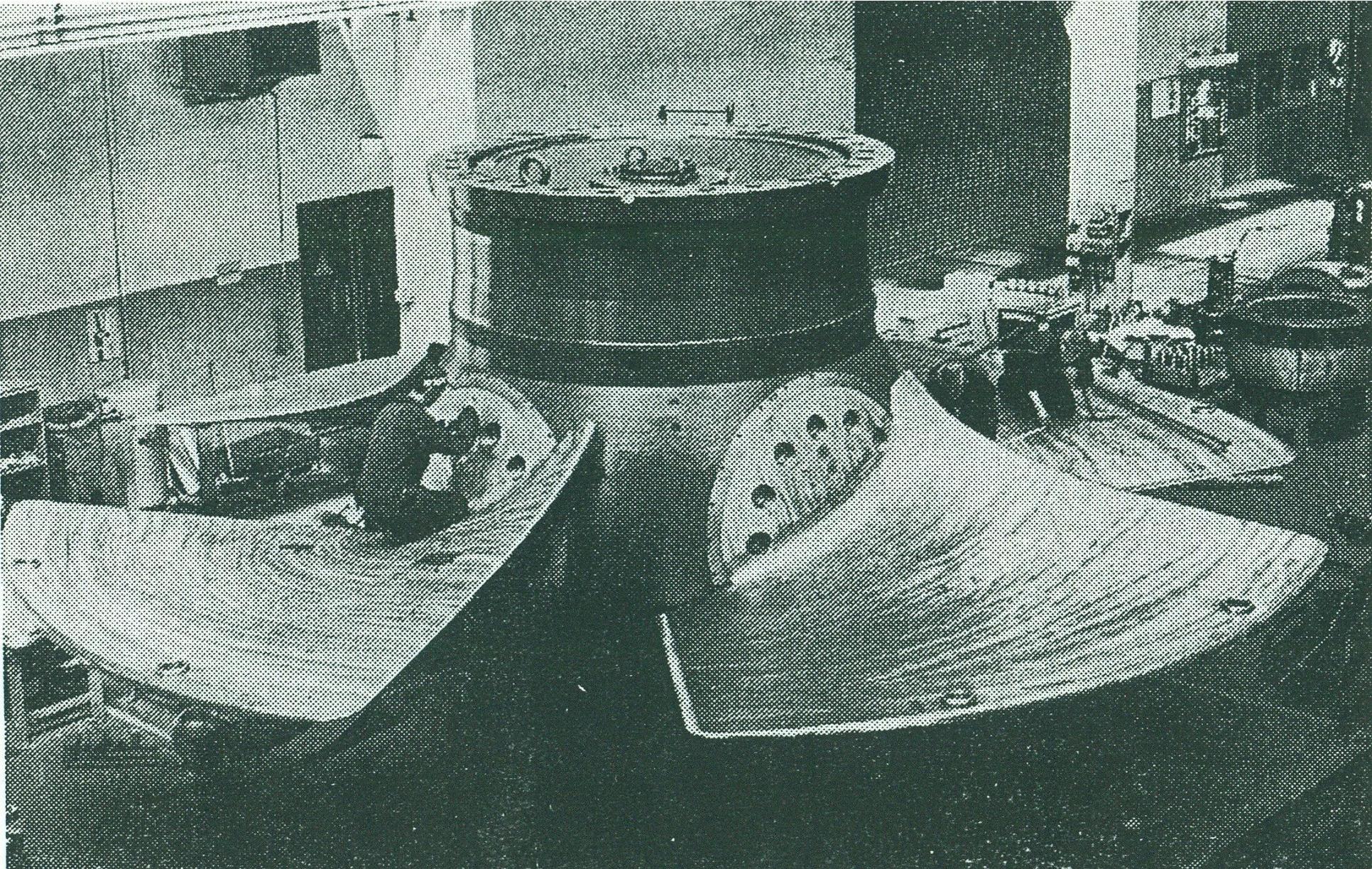


**INSTALACIÓN DE UNA
TURBINA KAPLAN EN
YACIRETÁ**

IMPISA - Yacyreta - Turbina Kaplan

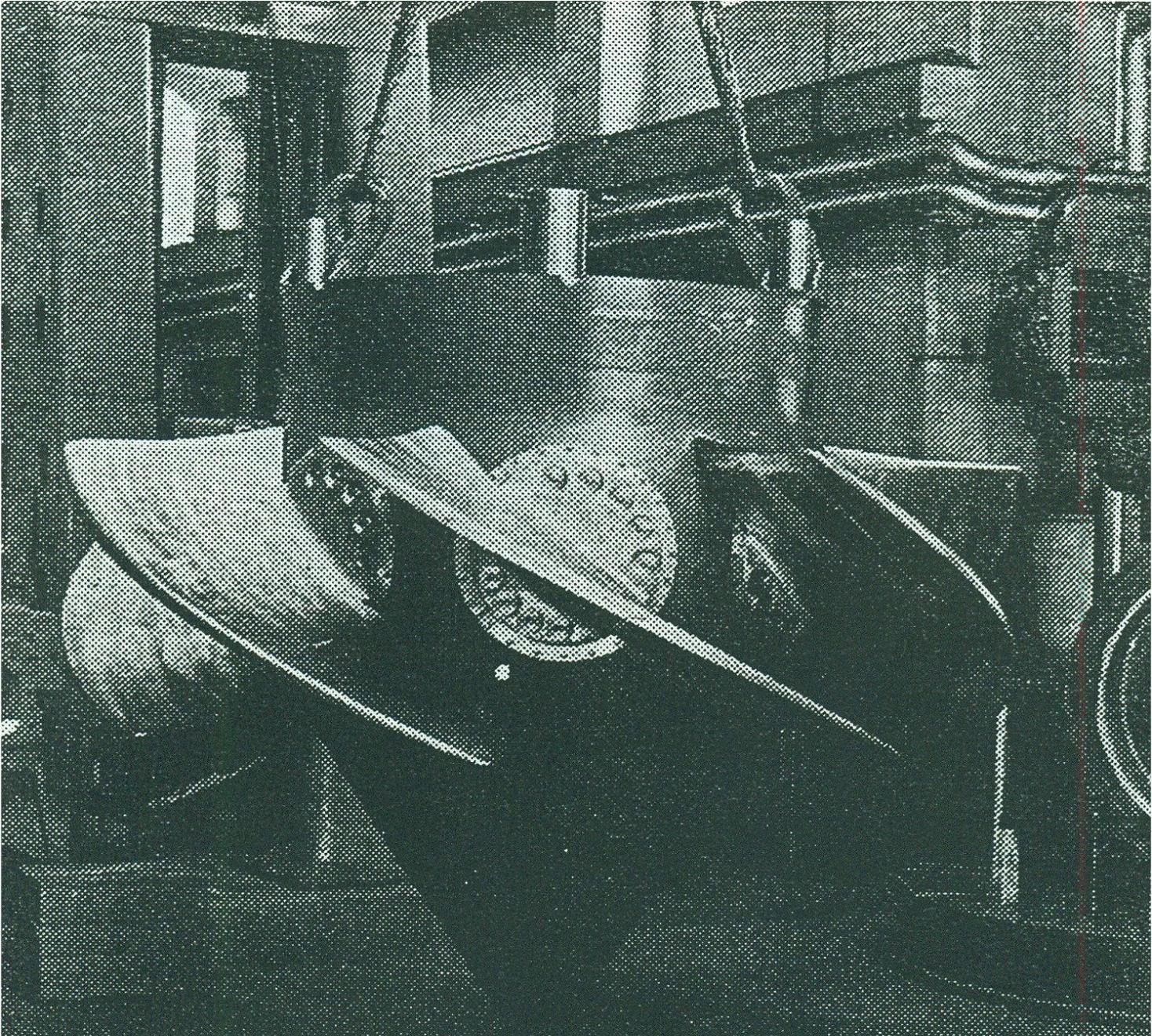


CUBO DE UNA TURBINA KAPLAN DE GRAN TAMAÑO
Contiene el mecanismo que varía el ángulo de ataque de los álabes

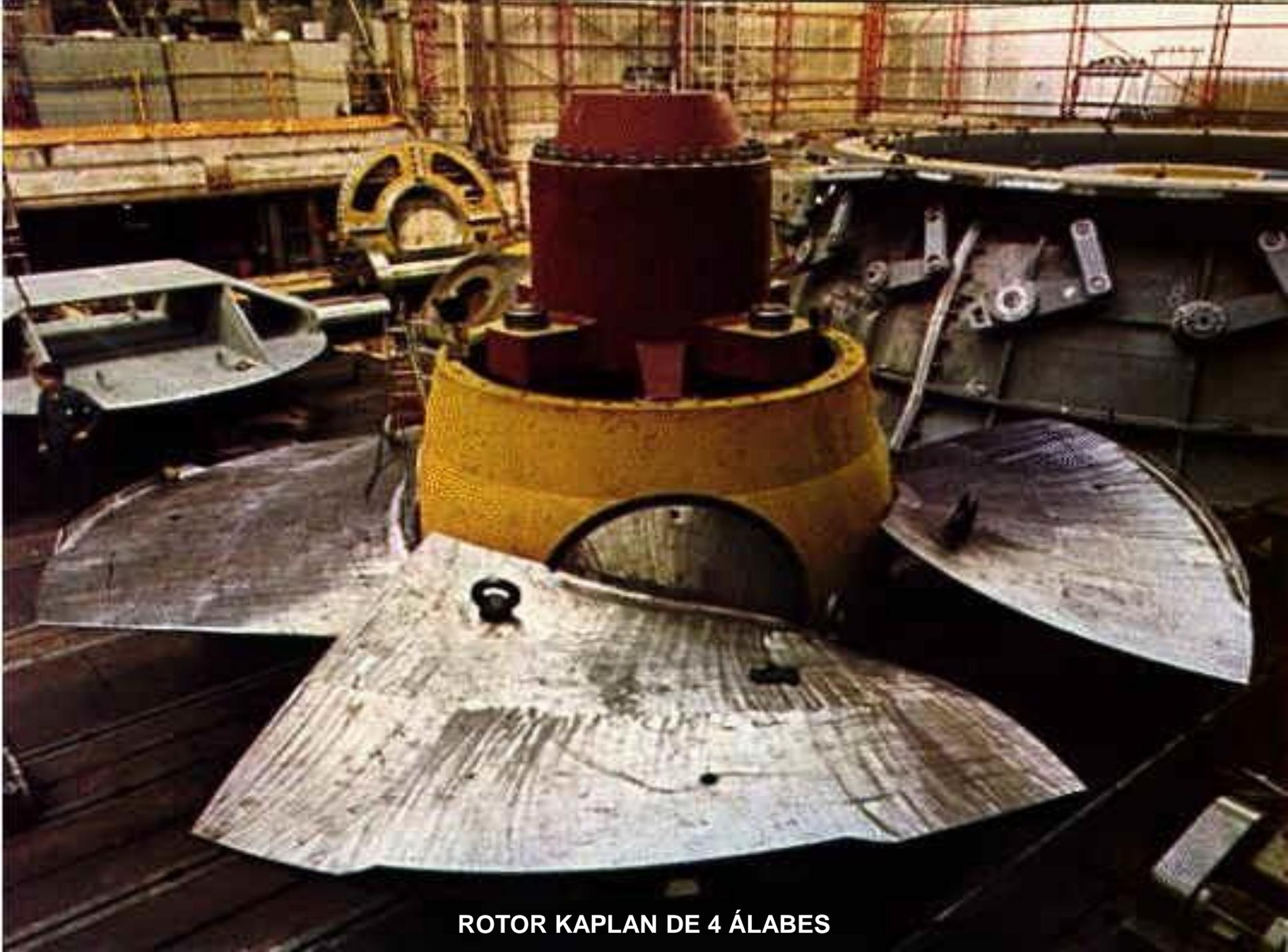


ROTOR KAPLAN DE 4 ÁLABES

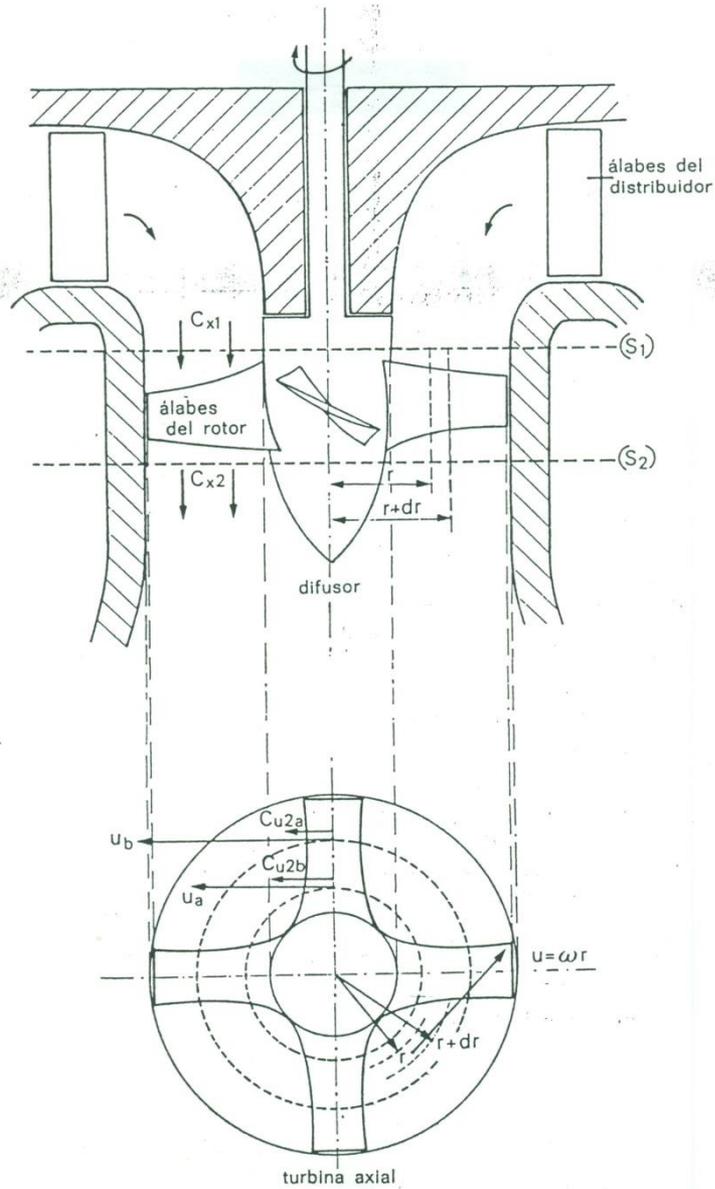
Diámetro = 8,10 m



ROTOR KAPLAN DE 6 ÁLABES



ROTOR KAPLAN DE 4 ÁLABES



CORTE ESQUEMÁTICO DE UNA TURBINA KAPLAN

Número específico de revoluciones (n_s)

$D_{\text{modelo}} = D_s =$ Diámetro específico

$Q_{\text{modelo}} = Q_s =$ Caudal específico

$H_{\text{modelo}} = H_s =$ Carga hidrodinámica específica = **1 m**

$N_m = N_s =$ Potencia específica = **1 CV**

$n_{\text{modelo}} = n_s =$ número específico de revoluciones (velocidad específica)

$$n_s = n N^{1/2} / H^{5/4}$$

El valor numérico de n_s depende del sistema de unidades utilizado.

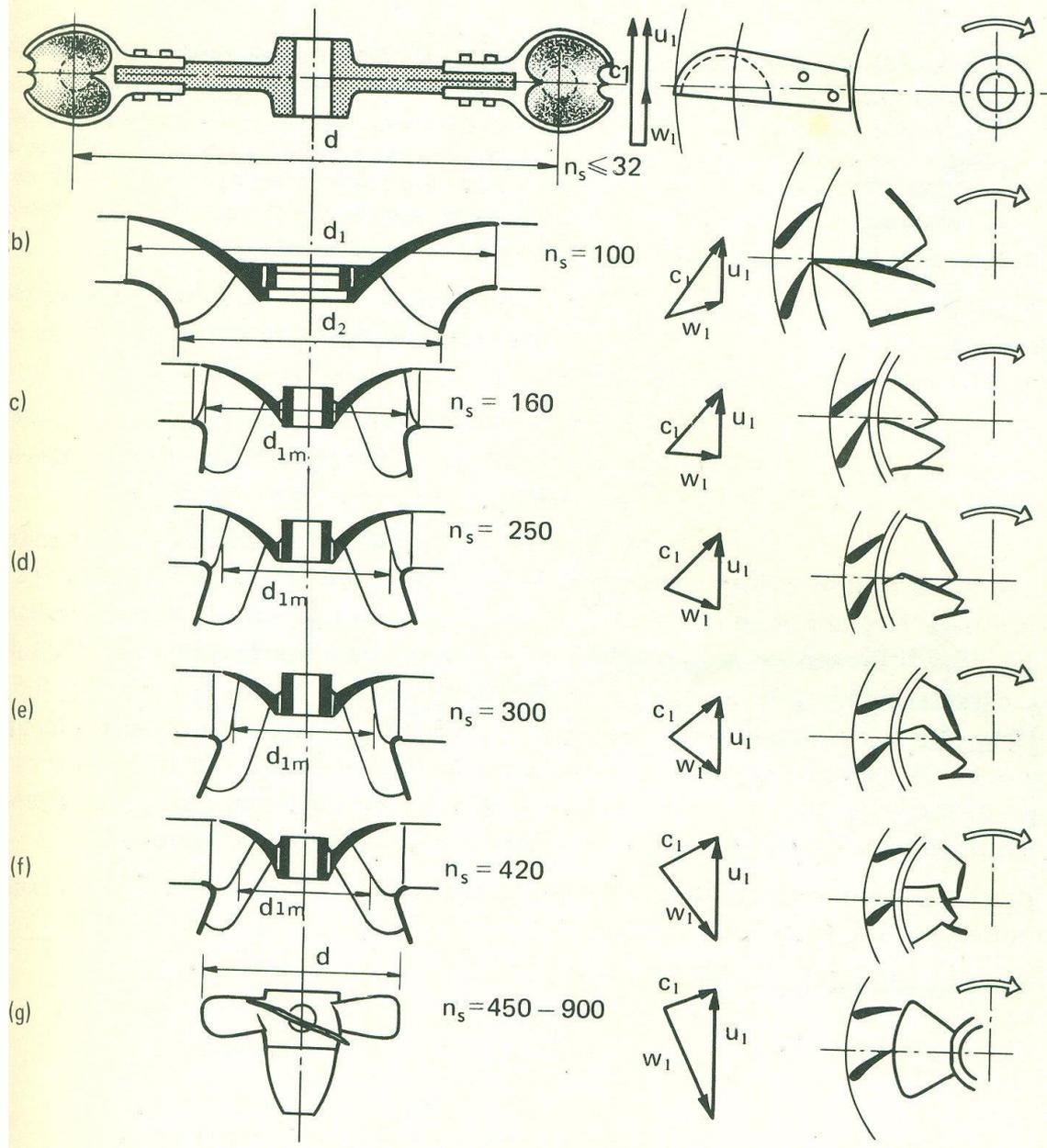
Sistema métrico

n (rpm) ; H (m) ; N (CV)

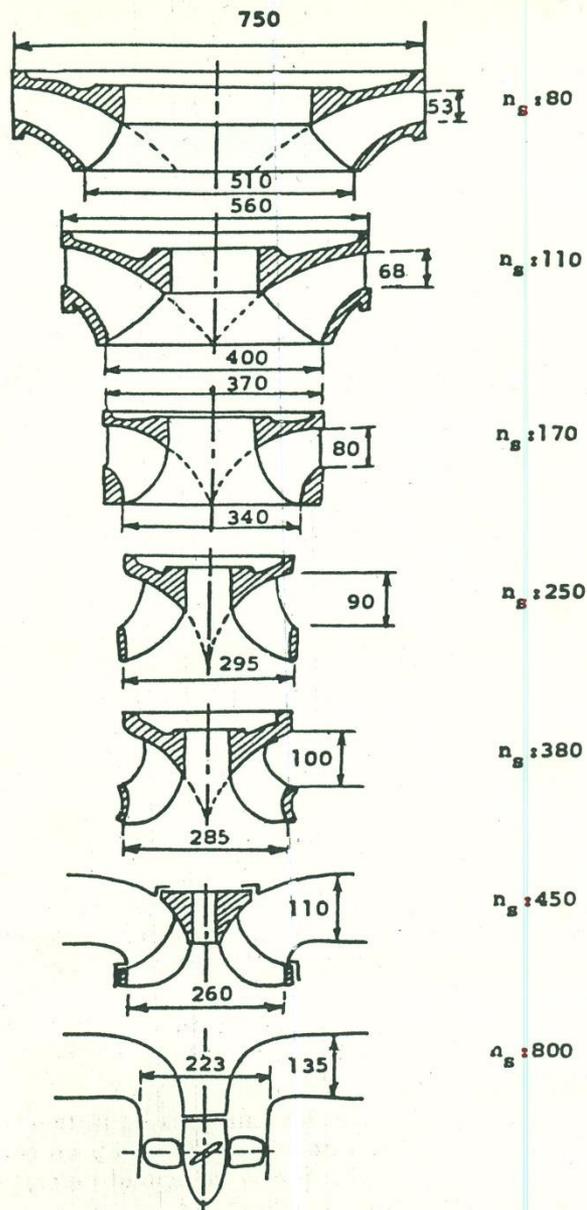
Sistema Inglés o EEUU

n (rpm) ; H (pies) ; N (HP)

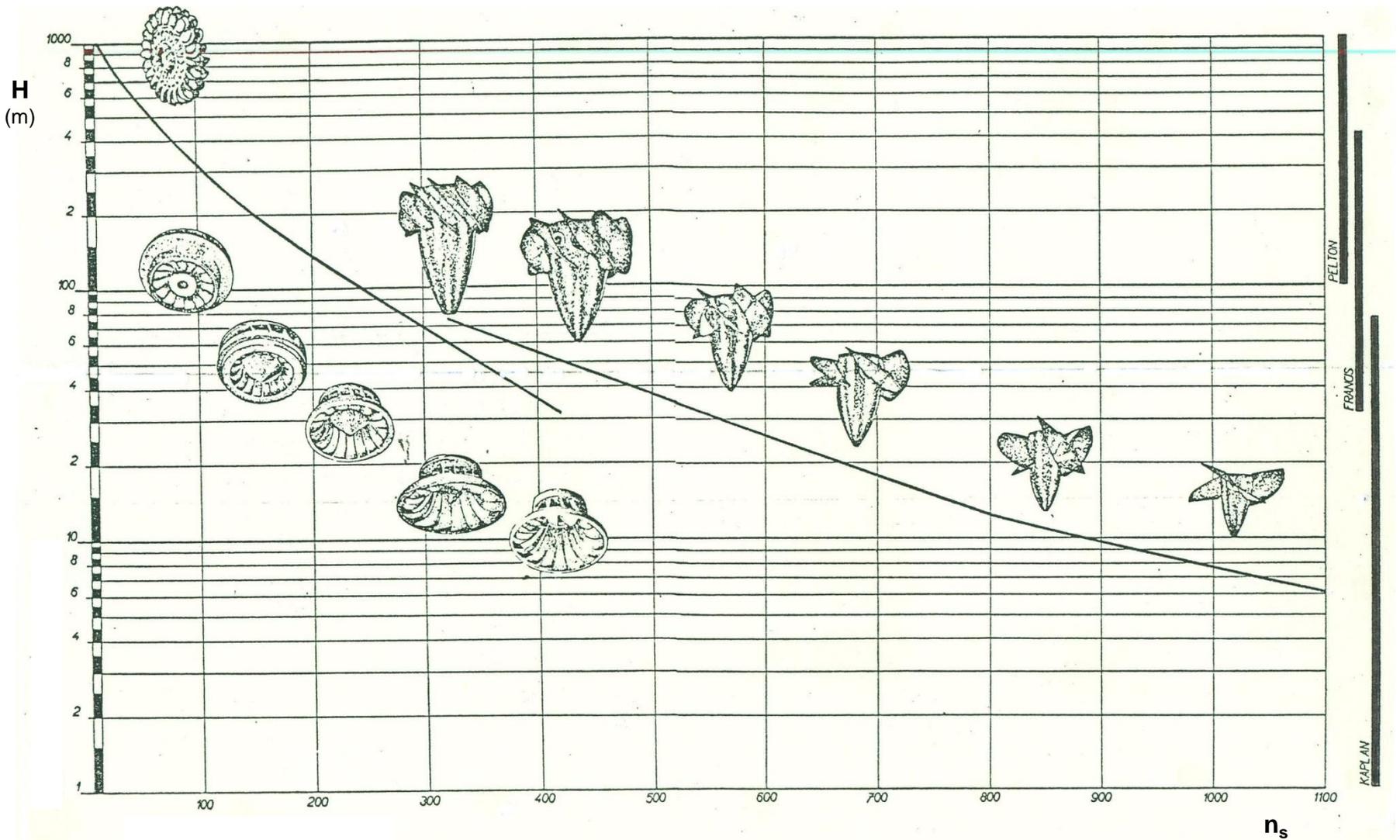
$$n_s (\text{métrico}) = 4,4 n_s (\text{inglés o EEUU})$$



EVOLUCIÓN DE LA FORMA DEL ROTOR EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD ESPECÍFICA n_s
El flujo es más axial cuanto mayor sea n_s



EVOLUCIÓN DE LA FORMA DEL ROTOR EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD ESPECÍFICA n_s
 El flujo es más axial cuanto mayor sea n_s



RANGOS DE APLICACIÓN DE LAS TURBINAS PELTON, FRANCIS Y KAPLAN
 Diagrama $H = H(n_s)$

$n_s = n^{1/2}/H^{5/4}$ = número específico de revoluciones.

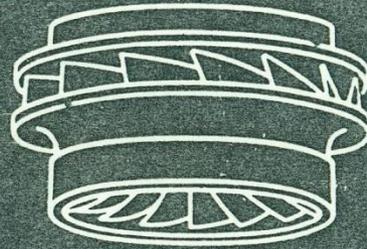


ns = 20

Pelton

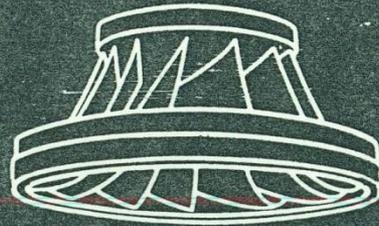


ns = 35

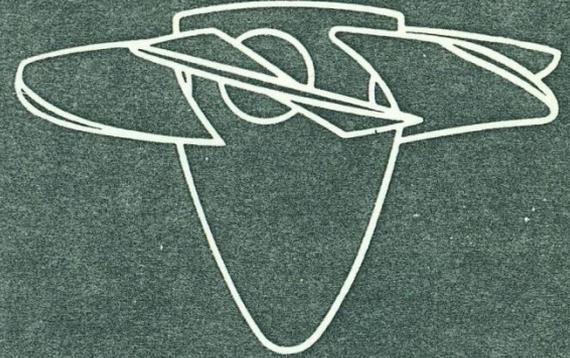


ns = 100

Francis

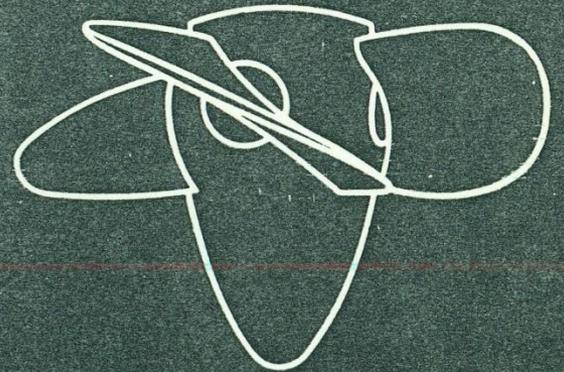


ns = 400

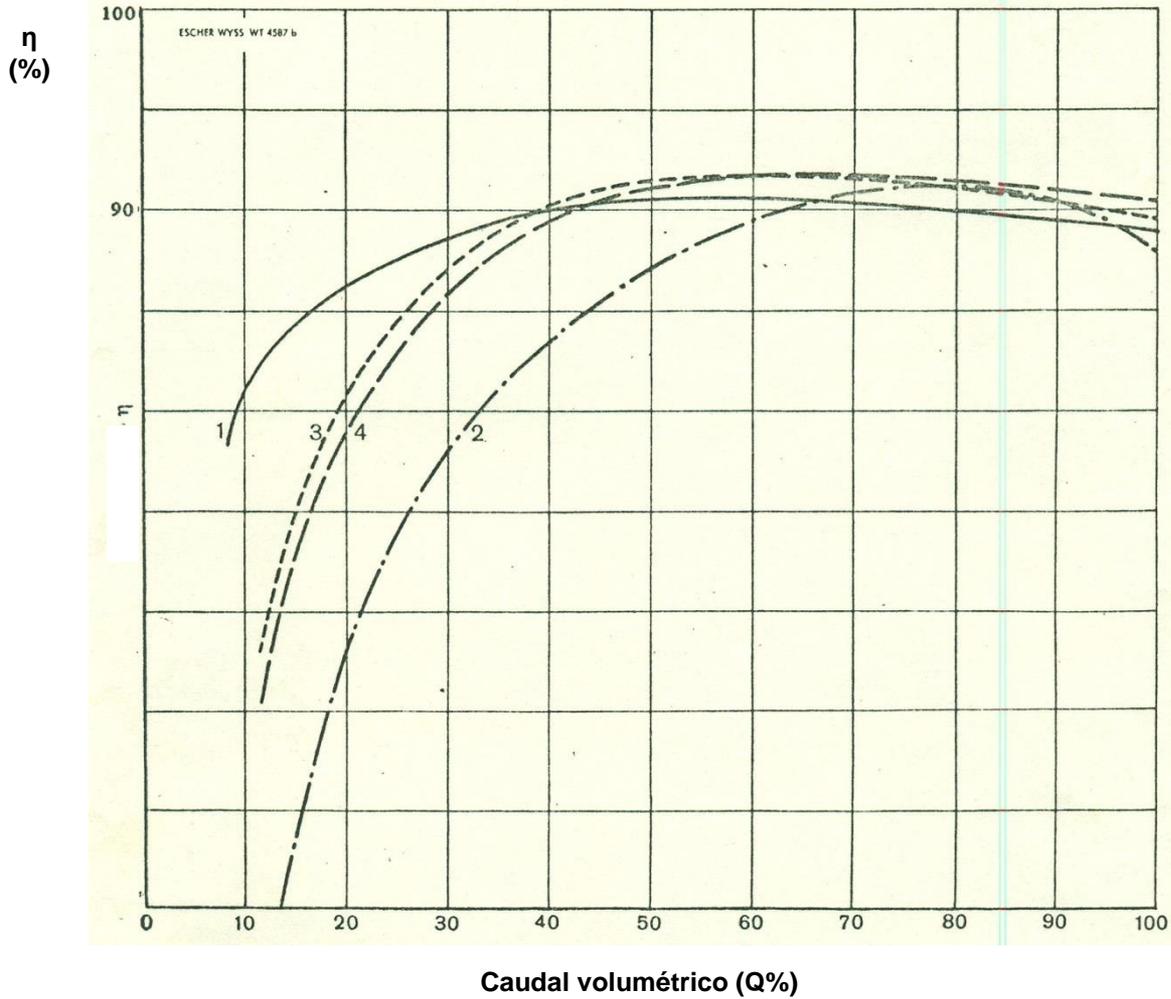
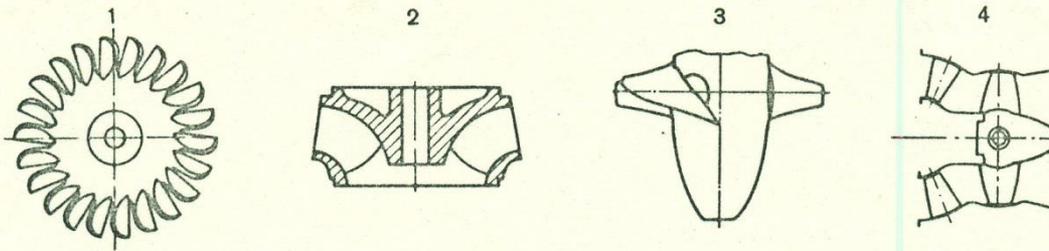


ns = 500

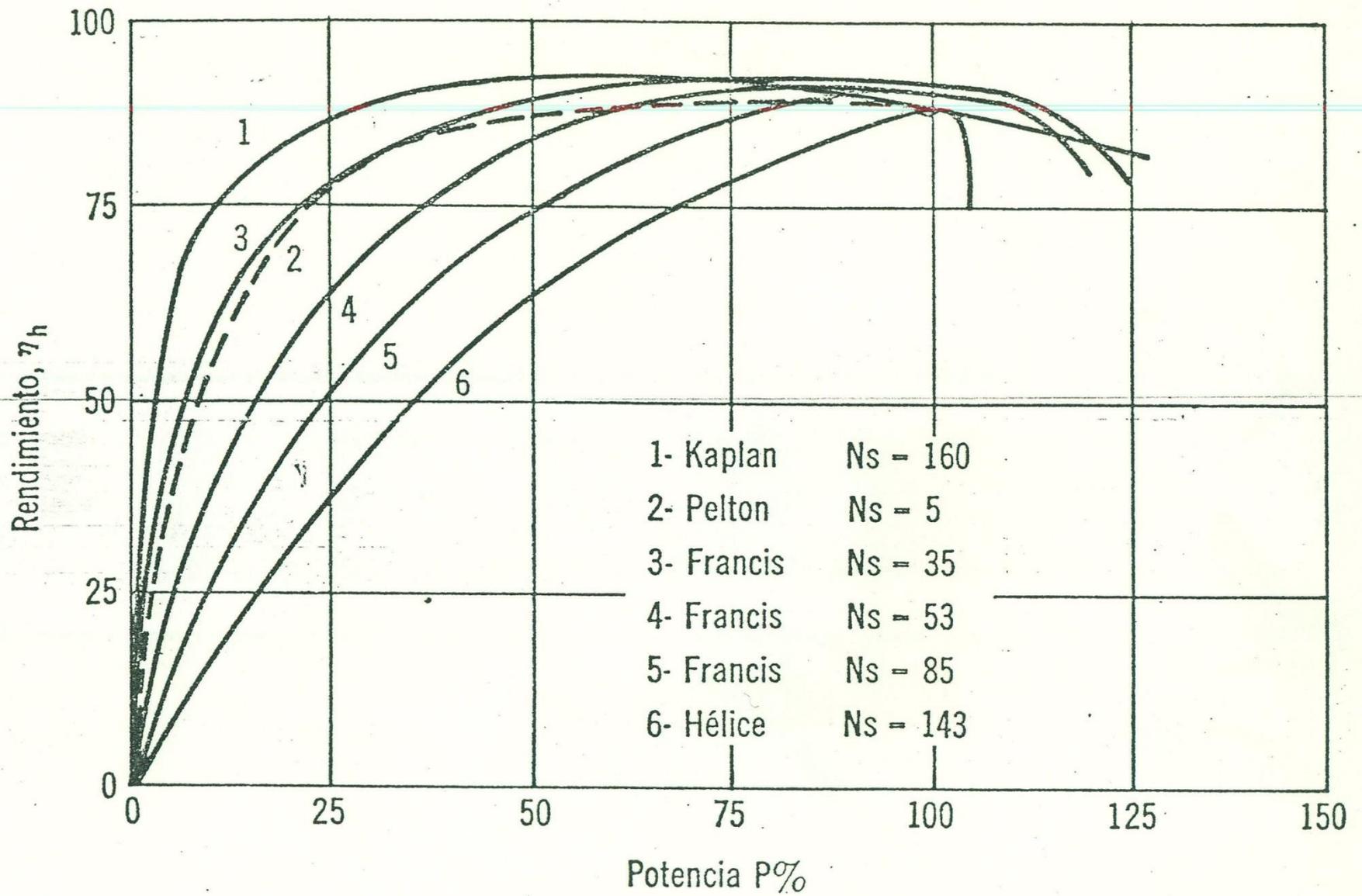
Kaplan



ns = 800



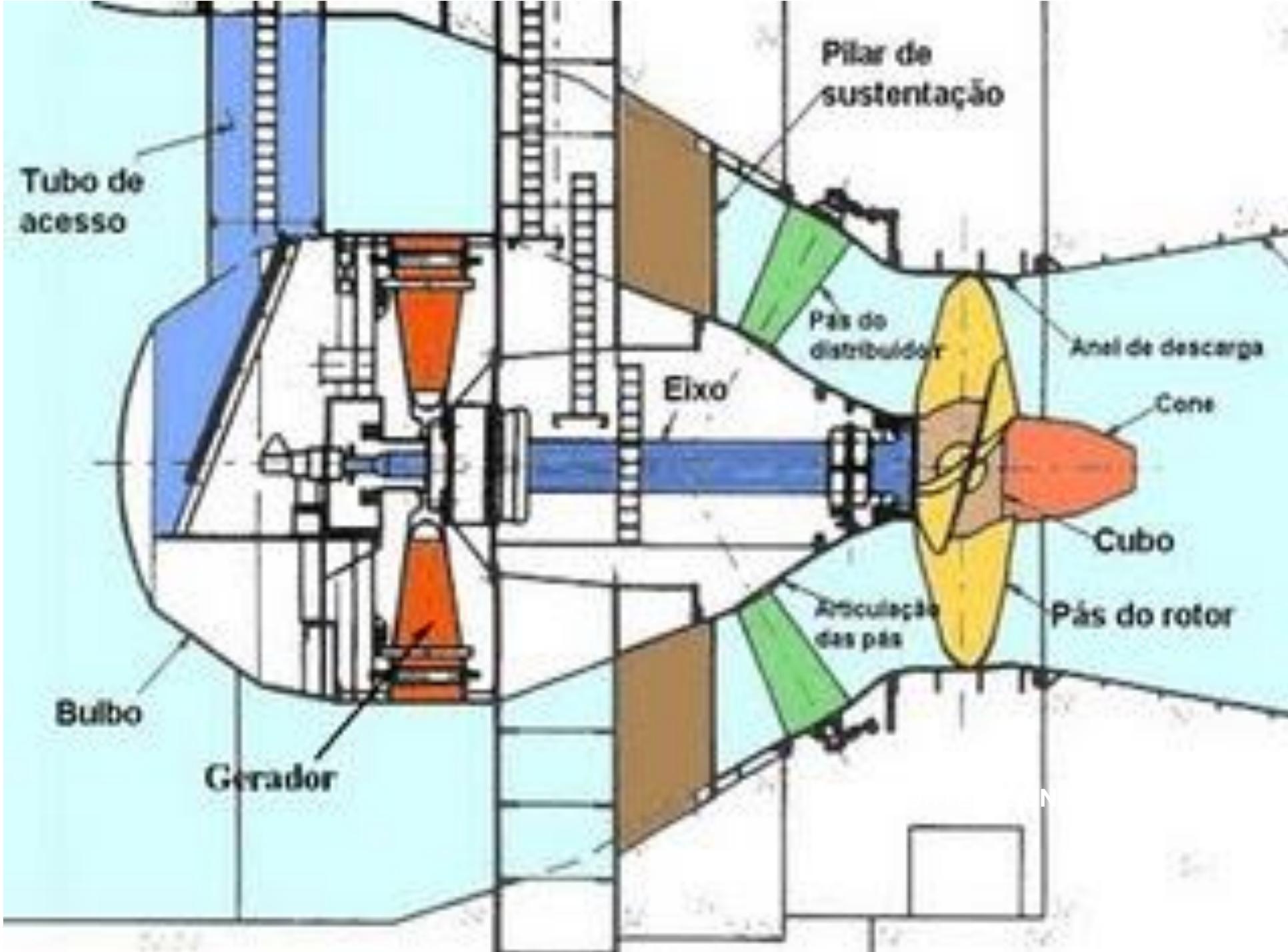
RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DEL CAUDAL



RENDIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA

TURBINAS BULBO, DE POZO Y TUBULARES

(desniveles muy bajos y grandes caudales)



5

GENERADORES ELÉCTRICOS

GENERADORES ELÉCTRICOS

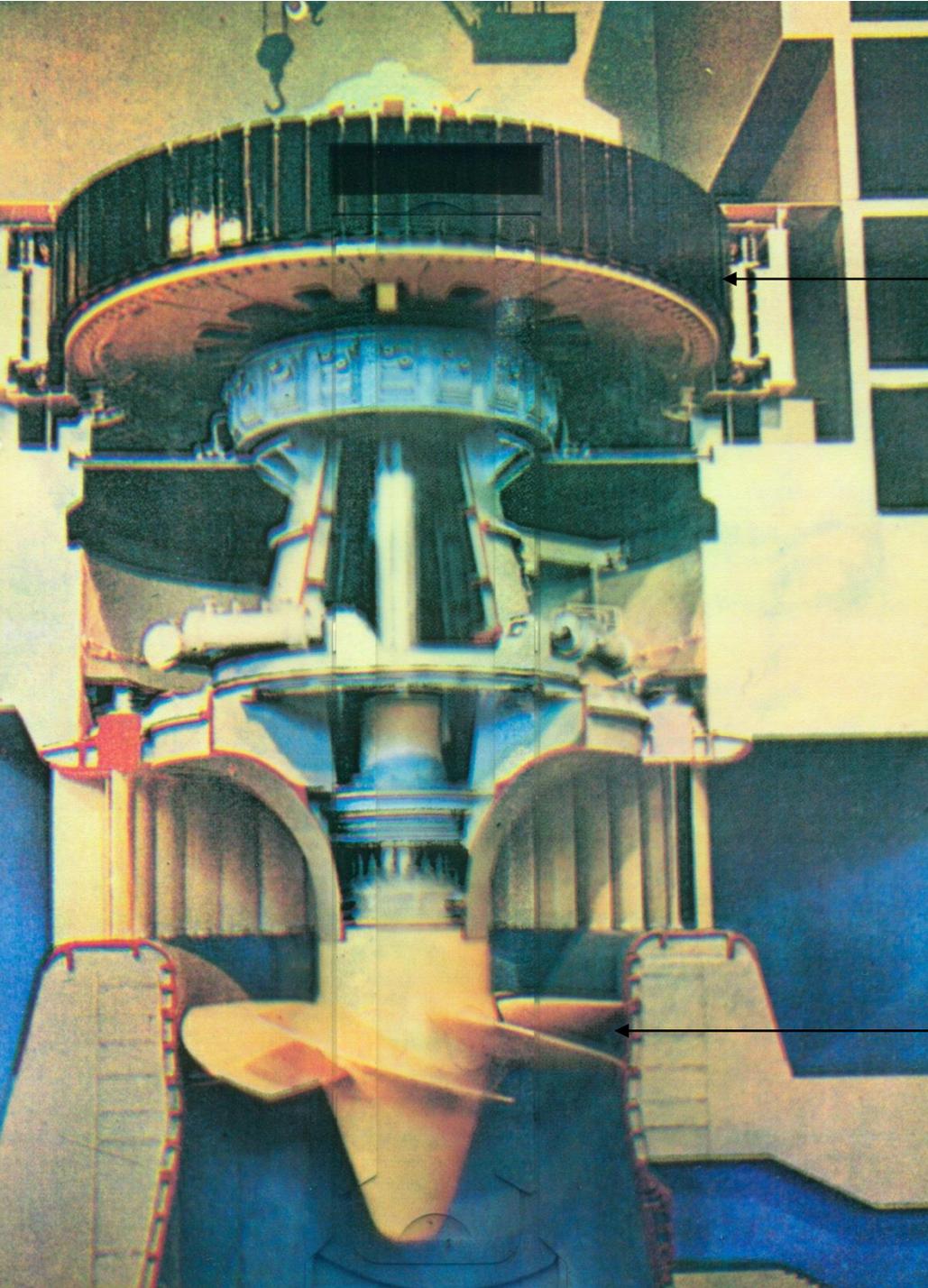
Los *generadores eléctricos* son máquinas operadoras que convierten la energía mecánica de rotación, disponible en el eje de un motor, en energía eléctrica.

La energía eléctrica es transportable a grandes distancias, desde el lugar de generación hasta los lugares de consumo.

Los generadores eléctricos son accionados por algún tipo de motor (entre ellos los *turbomotores hidráulicos*).

Ellos aportan energía a un *sistema eléctrico interconectado*.

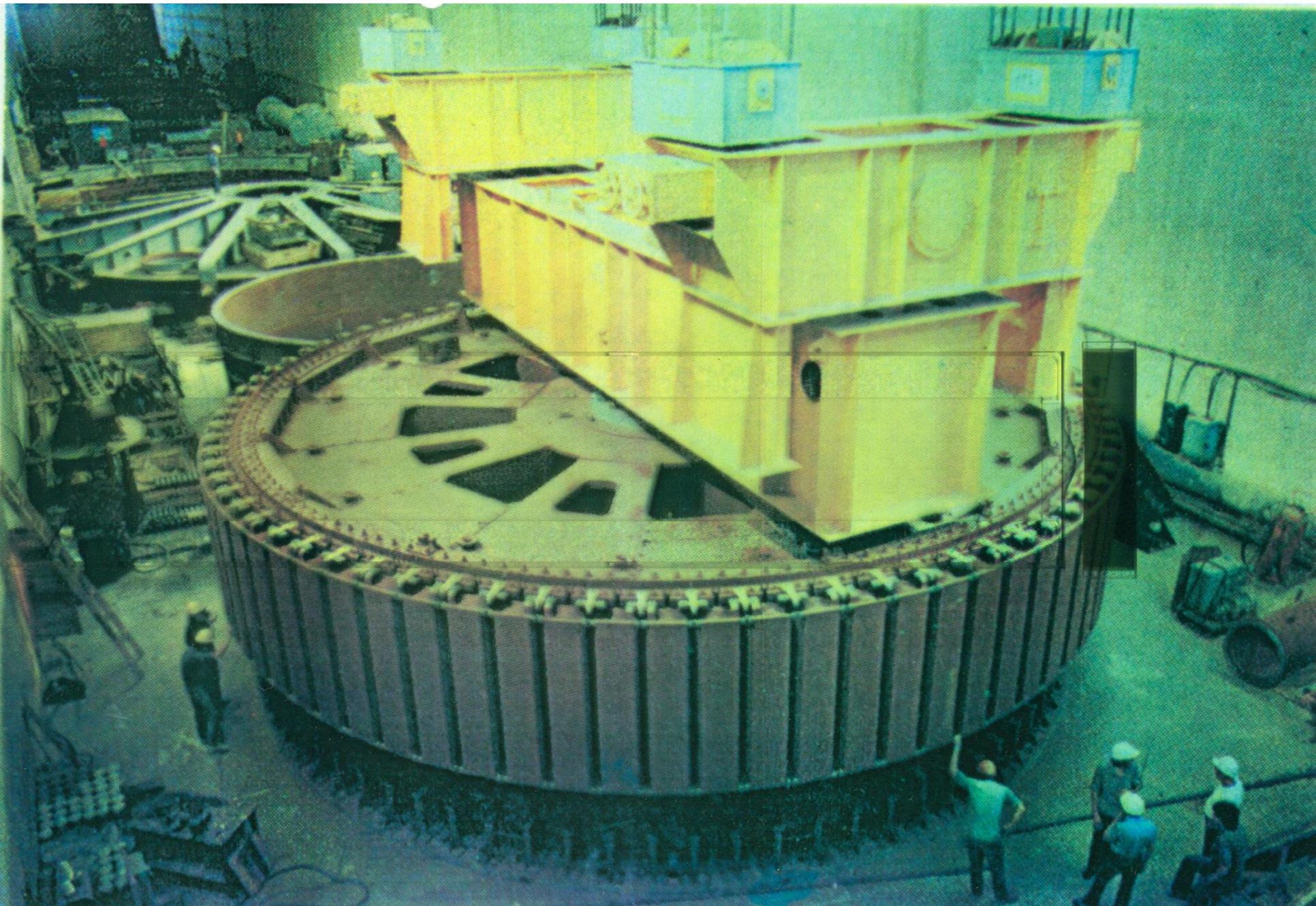
De este modo, un usuario vinculado a este sistema no puede identificar el origen de la energía eléctrica que recibe.



Alternador
Generador sincrónico
trifásico

CONJUNTO TURBINA-ALTERNADOR
Complejo binacional Argentino-Uruguayo Salto
Grande

Turbina



ROTOR DEL ALTERNADOR

Complejo binacional Argentino-Uruguayo Salto Grande

6

CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Convierten la energía hidráulica en energía eléctrica.

6.1 INTRODUCCIÓN

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que aprovechan la *energía potencial* de la masa de agua acumulada en un reservorio.

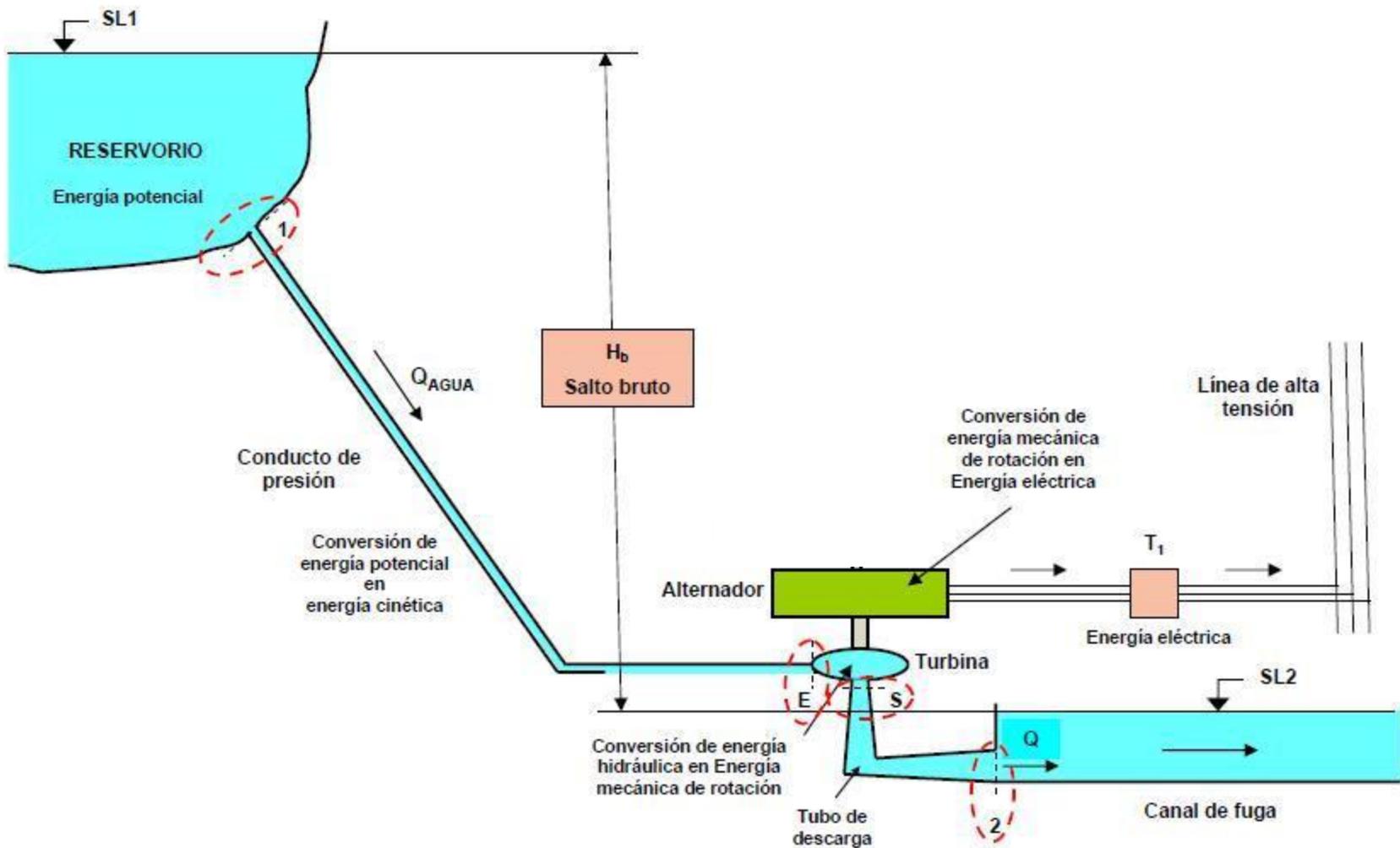
En su caída entre dos niveles (*), el agua pasa por una *turbina hidráulica*. Ésta convierte la *energía hidráulica (cinética)* del agua en *energía mecánica de rotación* del rotor. Éste la transmite a un *generador*, que la convierte en *energía eléctrica*, que es transportable a grandes distancias.

Las **centrales hidroeléctricas** y las **centrales térmicas** (de combustibles fósiles y de combustibles nucleares) producen la energía eléctrica de una manera muy similar. En ambos casos la fuente de energía es utilizada para impulsar una turbina, que a su vez hace girar un generador eléctrico, que es el que produce la electricidad.

Una **central hidroeléctrica** utiliza la energía del agua para accionar una turbina hidráulica.

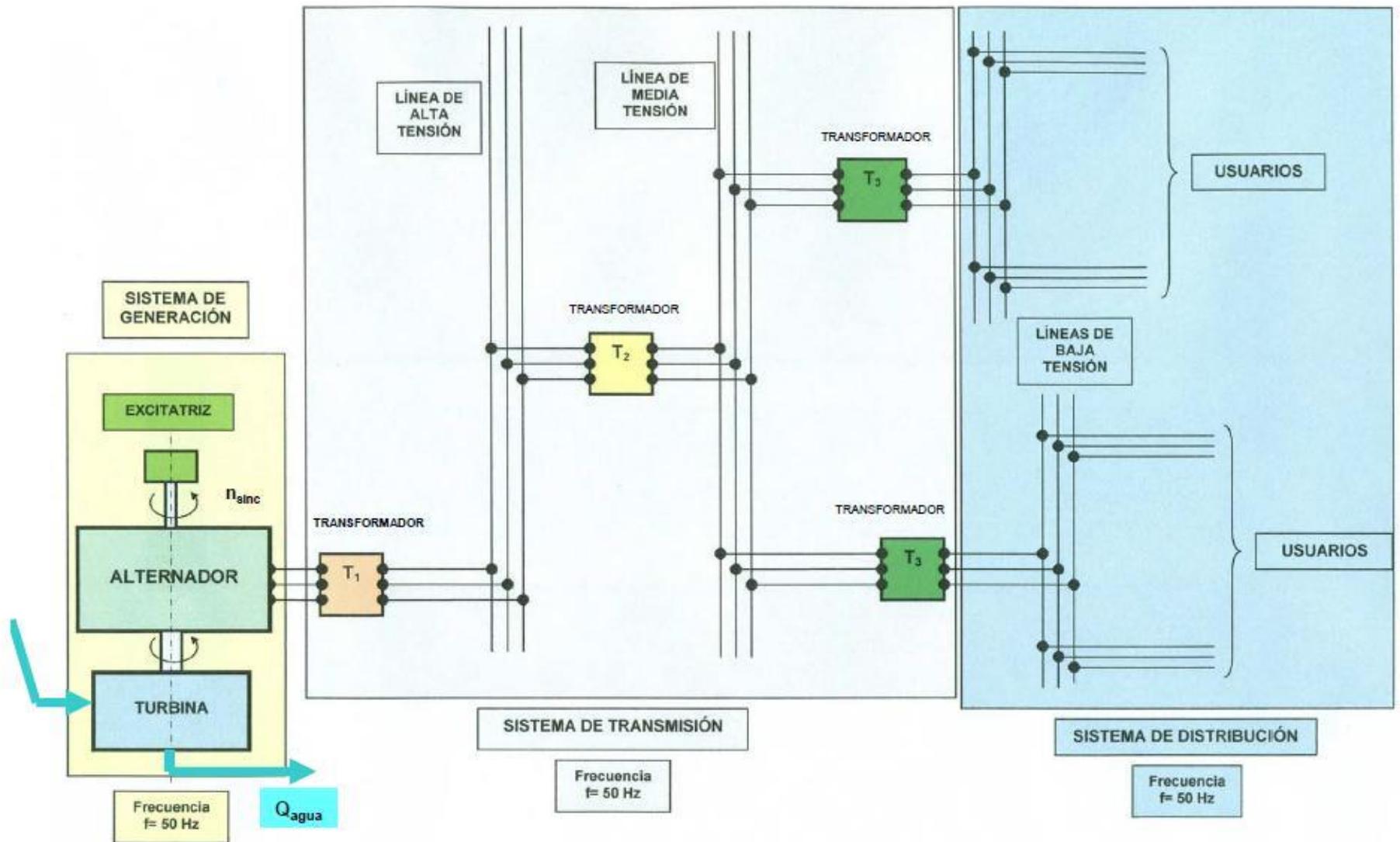
Una **central térmica** genera calor para producir el vapor de agua que acciona una turbina a vapor.

(*) Este desnivel es denominado *salto bruto, salto topográfico o salto geodésico*.



Potencia hidráulica bruta	$N_b = \gamma Q H_b$
Potencia hidráulica neta	$N_n = N_b - \gamma Q (\sum J_{1-E} + J_{S-2})$
Potencia mecánica efectiva en el eje de la turbina	$N_e = \eta_T N_n$

CONVERSIÓN DE ENERGÍA EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA



SISTEMAS DE GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

POTENCIA HIDRÁULICA DISPONIBLE EN EL SALTO BRUTO

$$N_b = \gamma Q H_b$$

POTENCIA NETA DISPONIBLE

$$N_n = N_b - N_{\text{pérd}} = \gamma Q H_n = \gamma Q \left[H_b - \left(\sum J_{1-ET} + \sum J_{ST-2} + \dots \right) \right]$$

POTENCIA EFECTIVA DE LA TURBINA

$$N_e = \eta_T N_n = \eta_T \gamma Q H_n = \eta_T \gamma Q \left[H_b - \left(\sum J_{1-ET} + \sum J_{ST-2} + \dots \right) \right]$$

donde

N_b = Potencia hidráulica correspondiente al salto bruto H_b $\text{kg}_f \text{ m/seg}$

N_n = Potencia hidráulica neta (correspondiente al salto neto H_n). $\text{kg}_f \text{ m/seg}$

N_e = Potencia efectiva de la turbina. $\text{kg}_f \text{ m/seg}$

γ = Peso específico del líquido. kg_f/m^3

Q = Caudal volumétrico de líquido. m^3/seg

H_b = Salto o desnivel bruto o topográfico). m

H_n = Salto o neto m

ΣJ_{1-E} = Sumatoria de las pérdidas de carga entre la embocadura 1 del conducto de alimentación y la sección E de entrada a la turbina. m

ΣJ_{S-2} = Sumatoria de las pérdidas de carga entre la sección S de salida de la turbina y el nivel 2 del canal de fuga. m

η_t = Rendimiento (eficiencia) total de la turbina. adimensional

La turbina, el alternador y la excitatriz van acoplados sobre un mismo eje. Esto significa que las tres máquinas giran a la misma velocidad.

Como el alternador es un generador sincrónico trifásico, su velocidad de rotación es la velocidad sincrónica n_{sinc} , que depende de la frecuencia f de la red y del número de pares de polos p del alternador:

$$n_{\text{sinc}} = \frac{60 \times f}{p}$$

n_{sinc} = Velocidad sincrónica del alternador (rpm)

f = Frecuencia de la red (en Argentina $f = 50$ Hertz = 50 ciclos/seg)

p = número de pares de polos del alternador (1, 2, 3, . . .)

60 seg/min

Para $f = 50$ ciclos/seg las velocidades sincrónicas posibles son:

p	1	2	3
$n_{\text{sinc}} = 60 \times 50/p$	3000	1500	1000

6.2 PARTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

- Presa.
 - Embalse.
 - Rejas y limpia rejas.
 - Canal, cámara de carga y tubería forzada (o tubería forzada solamente).
 - Compuertas y válvulas.
 - Casa de máquinas.
 - Turbinas.
 - Generadores eléctricos.
 - Transformadores.
-
- Líneas eléctricas de alta, media y baja tensión.

6.3 PRESA

DEFINICIÓN

En ingeniería, presa o represa es una barrera de piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye en el cauce de un río o de un arroyo con la finalidad de embalsar el agua para:

- su posterior aprovechamiento en abastecimiento
- derivarla a canalizaciones de riego,
- aumentar su energía potencial para convertirla primero en energía mecánica de rotación y luego en energía eléctrica.

NOTA: La energía mecánica puede ser utilizada en forma local, como en los antiguos molinos, o transformarla en energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas que alimentan una red de transporte, distribución y consumo.

TERMINOLOGÍA

El *embalse* es el volumen de agua que queda retenido por la presa.

El *vaso* es la parte del valle inundado que contiene el agua embalsada.

La *cerrada* es el punto concreto del terreno donde se construye la presa.

La *presa o cortina* propiamente dicha, cuyas funciones básicas son, por un lado garantizar la estabilidad de toda la construcción, soportando un empuje hidrostático del agua, y por otro no permitir la filtración del agua hacia abajo.

6.4 TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

6.4.1 CENTRALES DE AGUA FLUYENTE O DE PASADA

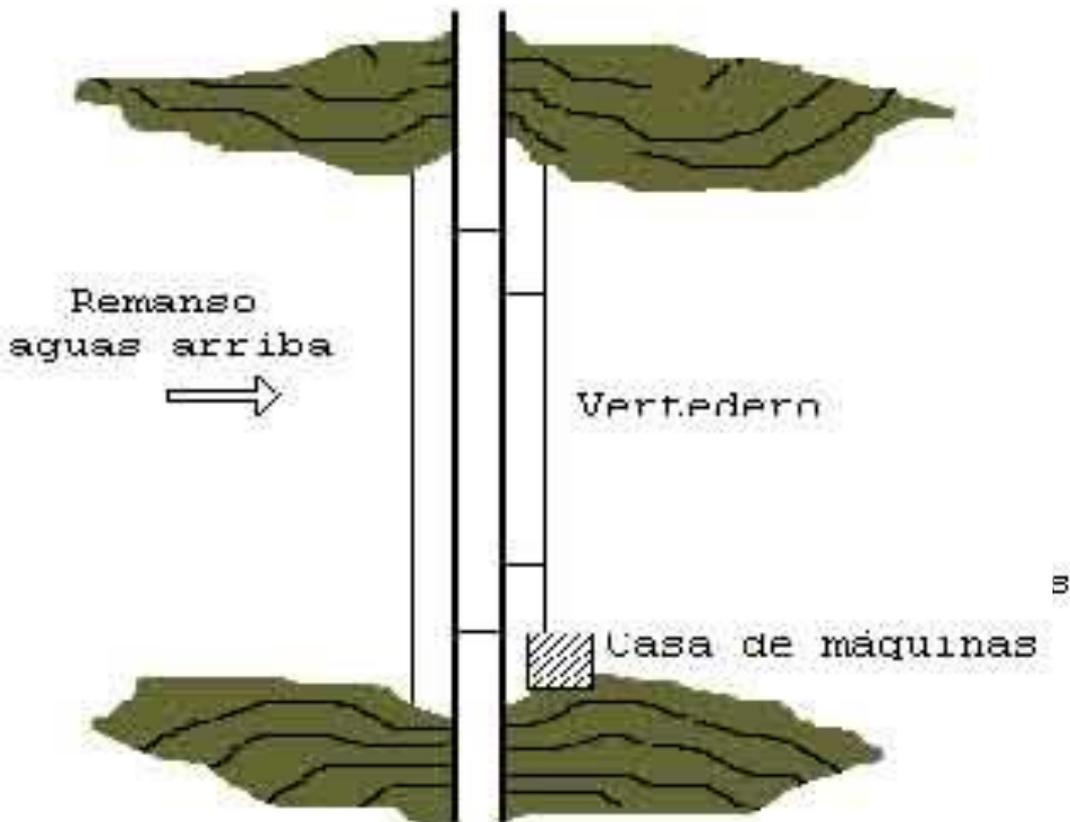
Utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua ya que no disponen de embalse. Turbinan el agua disponible en el momento, según la capacidad instalada.

En este tipo de centrales no existe una acumulación apreciable de agua “corriente arriba” de las turbinas, ya que no tienen un reservorio. Las turbinas deben aceptar el caudal disponible en el río, con sus variaciones estacionales.

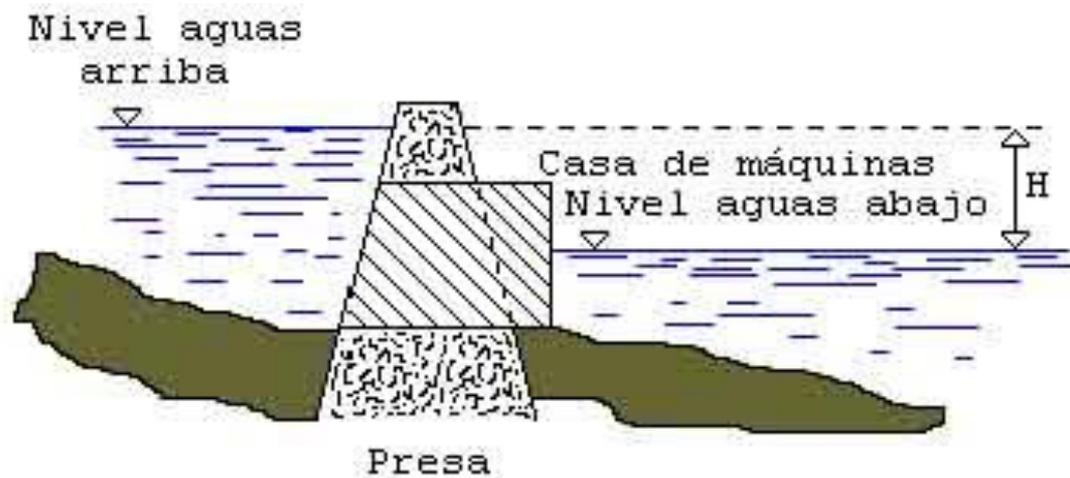
Si en algunos períodos el caudal de agua fuese excesivo, el agua sobrante se pierde por rebosamiento, sin pasar por la turbina.

En ocasiones un embalse relativamente pequeño bastará para impedir esa pérdida por rebosamiento.

- En ríos con fuerte pendiente las turbinas pueden ser de *eje vertical*.
- En ríos de baja pendiente las turbinas pueden ser de *eje horizontal*.



**ESQUEMA DE UNA CENTRAL
DE PASADA**



6.4.2 CENTRALES DE ACUMULACIÓN POR EMBALSE

Es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica.

Se embalsa un volumen considerable de agua "corriente arriba" de las turbinas, mediante la construcción de una o más presas que forman lagos artificiales.

El embalse permite graduar la cantidad de agua que pasa por las turbinas.

El caudal que puede hacerse pasar por las turbinas depende del volumen de agua embalsado.

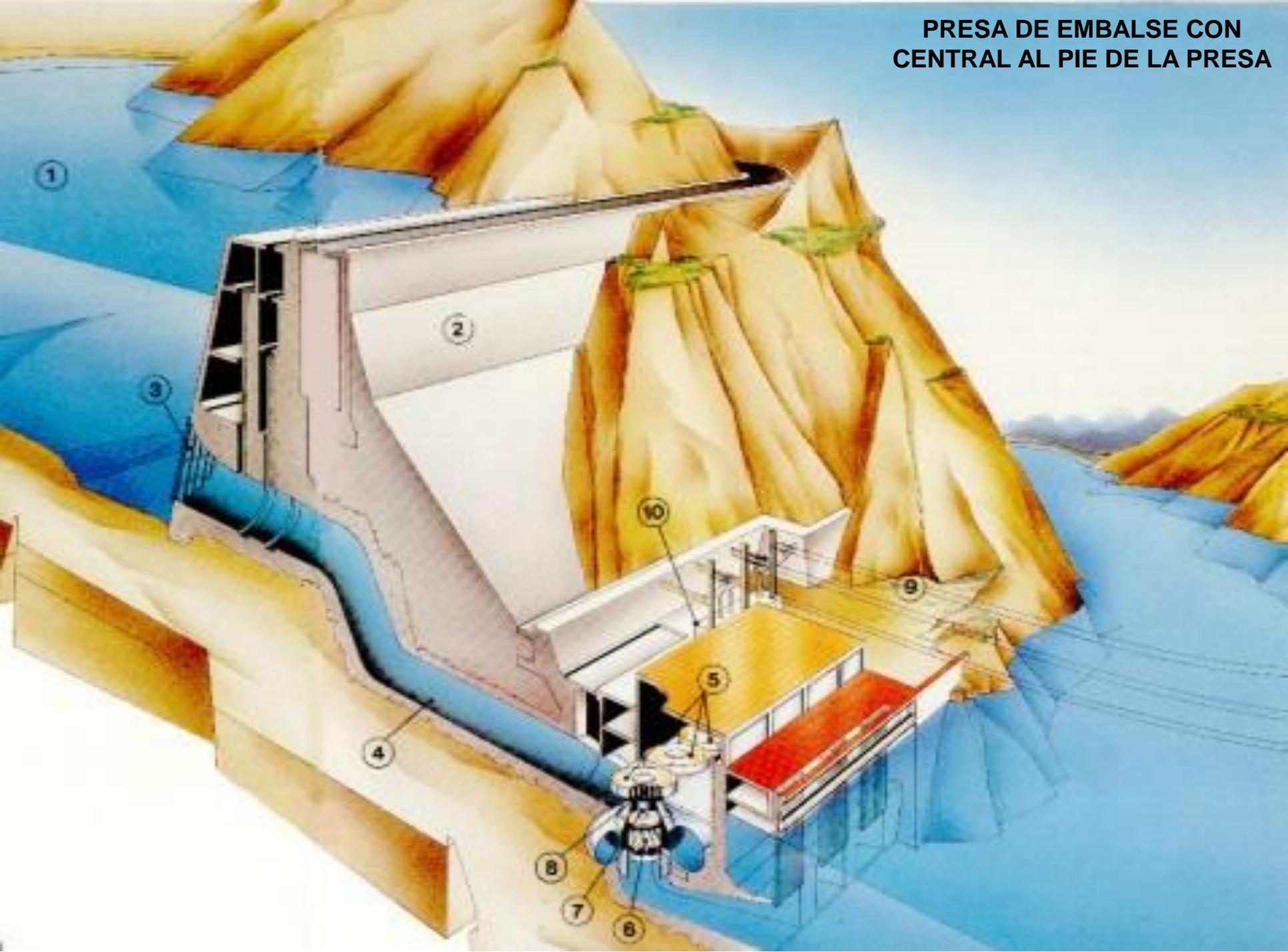
Pueden producir energía eléctrica durante todo el año, aunque el río se seque por completo durante algunos meses. Esto sería imposible en una central de pasada.

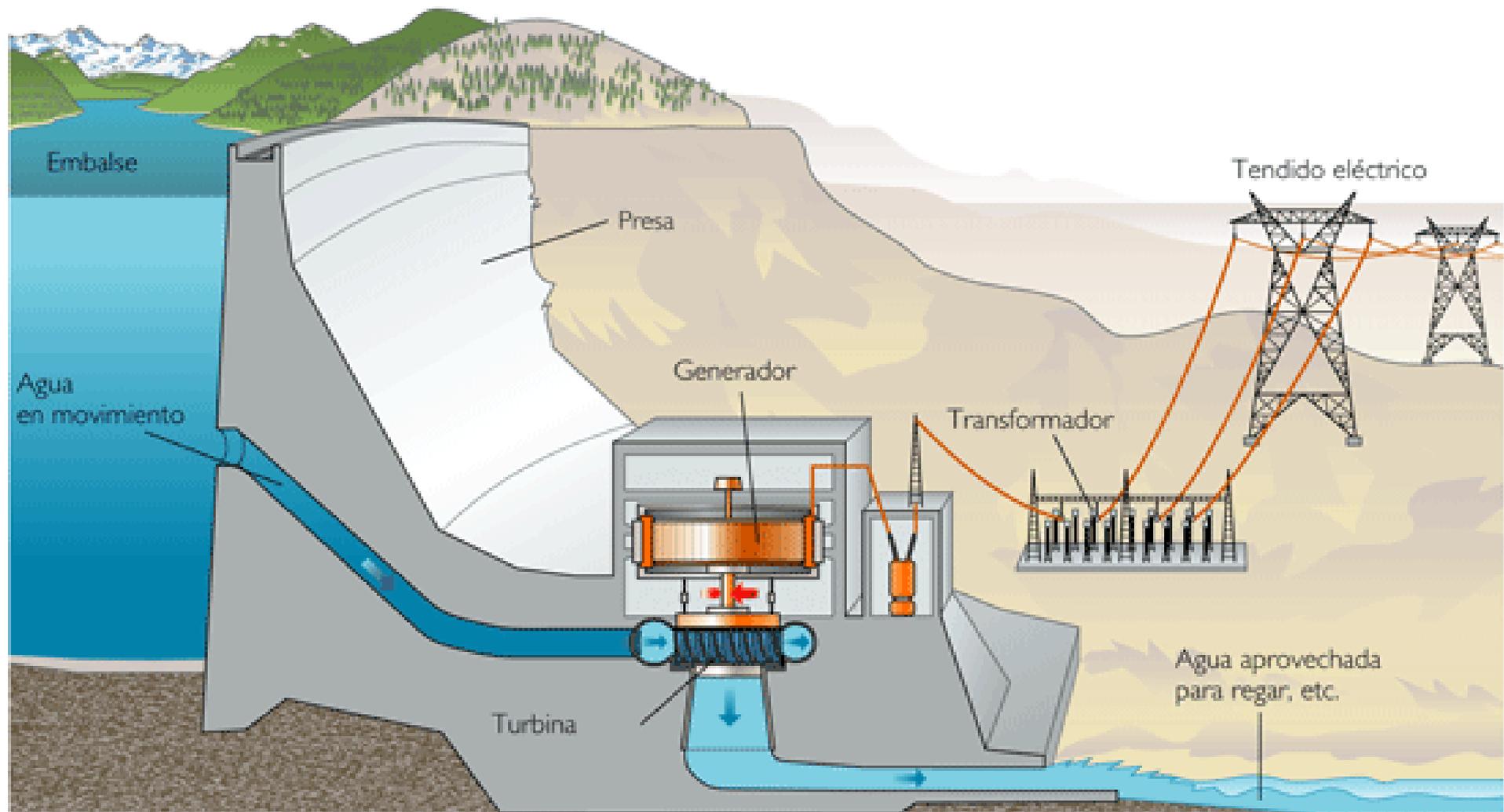
Las centrales con almacenamiento de reserva exigen una inversión de capital mayor que las de pasada, pero en la mayoría de los casos permiten usar toda la energía posible y producir energía a menor costo.

Existen dos variantes de estas centrales hidroeléctricas:

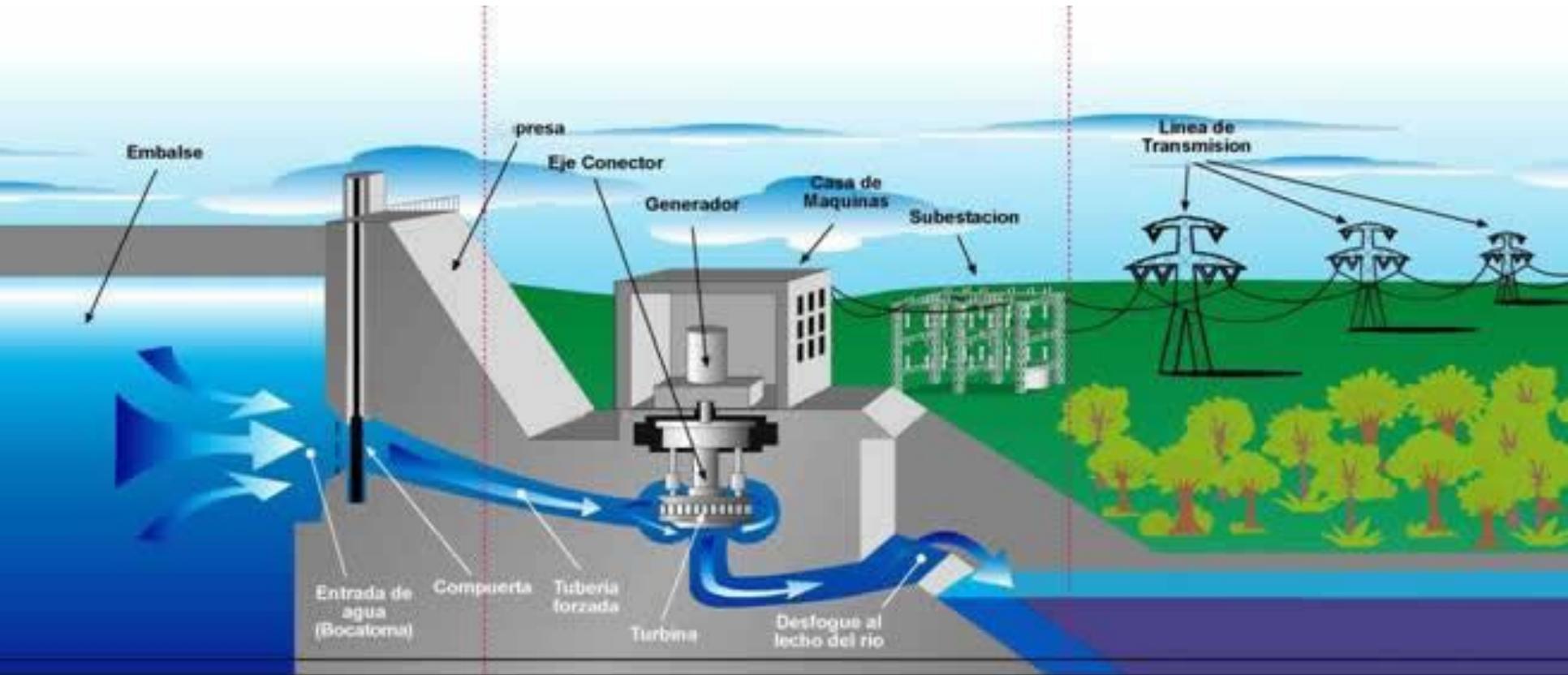
- La de casa de máquina ubicada al pie de la presa.
- Aprovechamiento por derivación del agua.

PRESA DE EMBALSE CON CENTRAL AL PIE DE LA PRESA

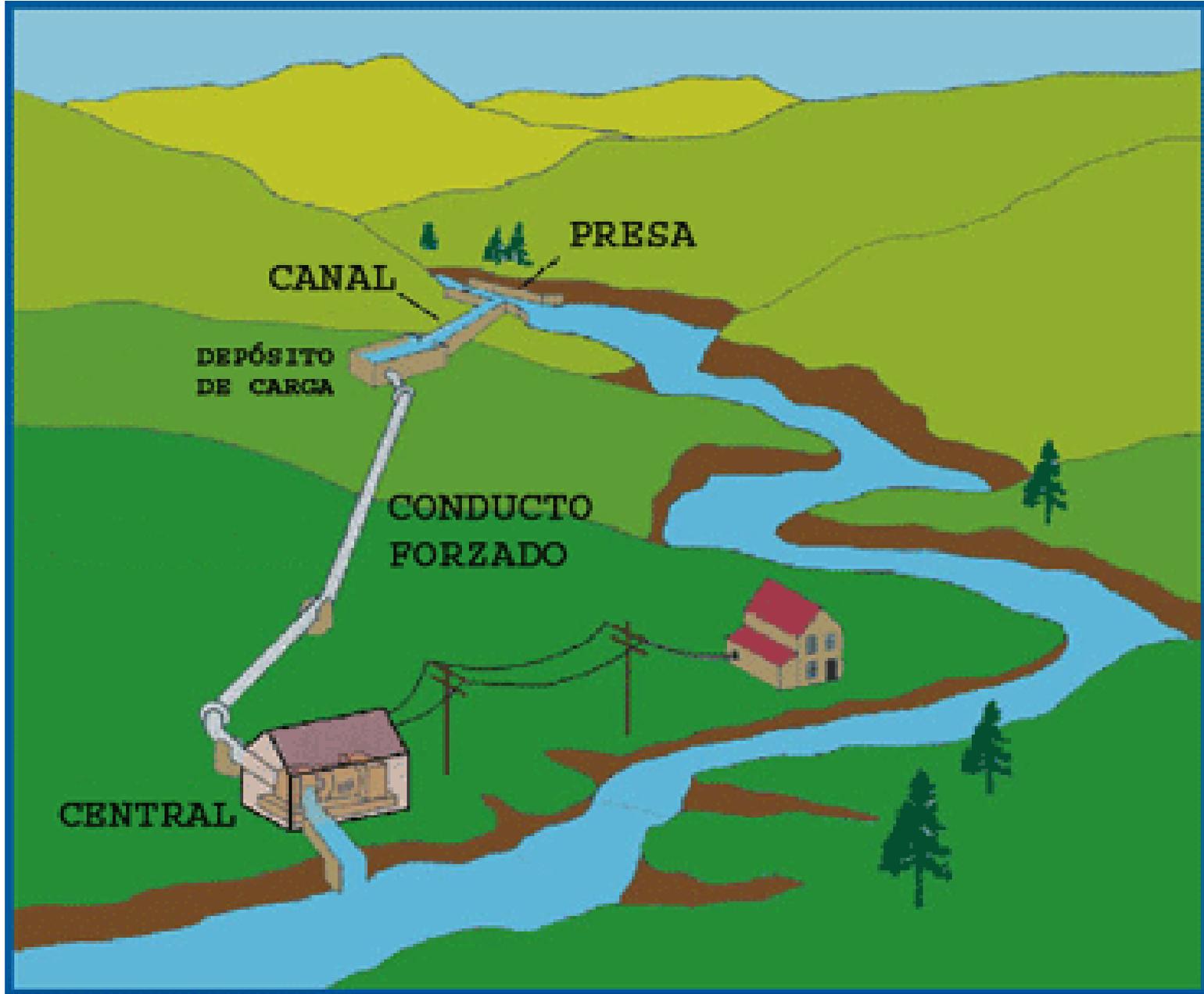




CENTRAL HIDROELÉCTRICA SITUADA AL PIE DE UNA PRESA



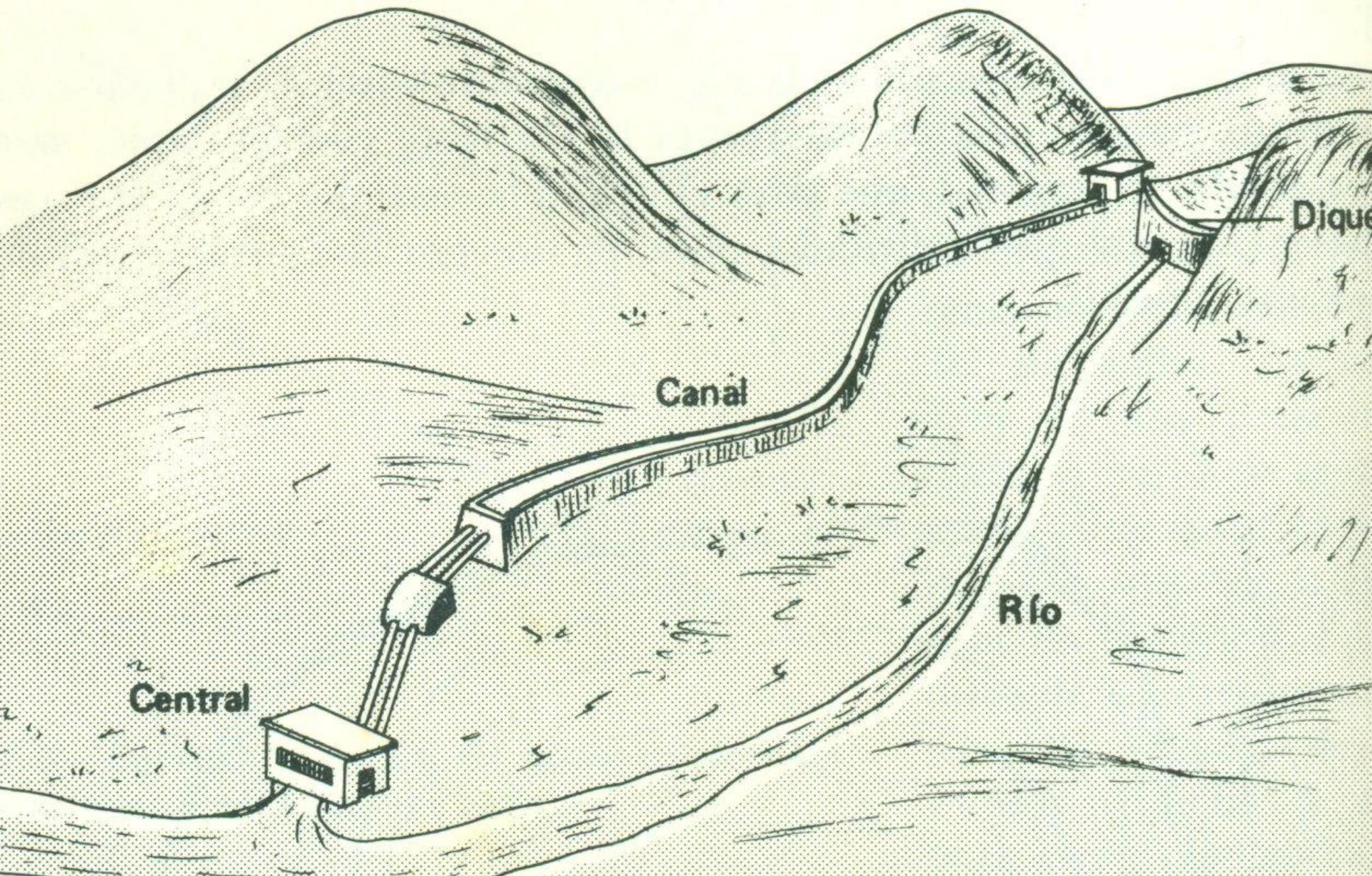
CENTRAL HIDROELÉCTRICA SITUADA AL PIE DE UNA PRESA



CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE DERIVACIÓN
(aprovechamiento hidroeléctrico en un río de montaña)



CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE DERIVACIÓN
(aprovechamiento hidroeléctrico en un río de montaña)



CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE DERIVACIÓN
(aprovechamiento hidroeléctrico en un río de montaña)

6.4.3 CENTRALES DE ACUMULACIÓN POR BOMBEO

Disponen de dos embalses situados a diferente nivel. La central dispone de grupos de motores-bomba o, alternativamente, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores.

Durante las horas del día en las que la demanda de energía eléctrica es muy alta en la red (pico o punta del diagrama de demanda), el agua almacenada en el embalse superior acciona el rotor de la turbina, que a su vez hace rotar el eje del alternador, y el agua queda almacenada en el embalse inferior. Durante estas horas la central entrega energía a la red a mayor precio.

Durante las horas del día en que la demanda de energía es menor, el agua es bombeada desde el embalse inferior al superior para que pueda realizar nuevamente el ciclo productivo. Durante estas horas la central toma energía de la red a menor precio.

Las centrales de bombeo funcionan como ***centrales de punta o de pico***.



**CENTRAL DE ACUMULACIÓN
POR BOMBEO**

6.4.4 CENTRALES MAREOMOTRICES

La energía mareomotriz se obtiene de las mareas, aprovechando la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna.

Esta diferencia de alturas resulta de la atracción gravitatoria que ejercen la Luna y el Sol sobre las masas de agua de los mares.

La diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo una turbina hidráulica en el proceso natural de ascenso o descenso de las aguas.

El acoplamiento de la turbina a un alternador permite transformar la energía mareomotriz en energía eléctrica.

Algunas centrales mareomotrices utilizan el **flujo** y el **reflujo** de las mareas. Esto significa que se genera energía tanto durante el llenado como durante el vaciado de la bahía.

Las centrales mareomotrices pueden ser ventajosas en zonas costeras, donde la amplitud de la marea es amplia y las condiciones morfológicas de la costa permiten la construcción de una presa que cierra la entrada y salida de la marea en una bahía.

La instalación de una central maremotriz es sólo posible en lugares con una diferencia de al menos 5 metros entre la marea alta y la baja . Hay pocos puntos en el globo donde ocurre este fenómeno. Estos son los principales:



DESNIVELES DE MAREAS EN VARIOS LUGARES DEL MUNDO

Electricité de France instaló una central mareomotriz en el estuario del río Rance aprovechando el desnivel de 13 metros de las mareas.

Funciona desde el año 1967, produciendo electricidad para cubrir las necesidades de una ciudad como Rennes (el 9% de las necesidades de Bretaña).

El coste del kWh resultó similar o más barato que el de una central eléctrica convencional.

Otros proyectos de plantas mareomotrices son:

- una central mucho mayor prevista en Francia en la zona del Mont Saint Michel,
- el de la Bahía de Fundy en Canadá, donde se dan hasta 15 metros de diferencia de nivel en las marea,
- el del estuario del río Severn, en el reino Unido, entre Gales e Inglaterra.

Ninguno de ellos ha llegado a ejecutarse por el riesgo de un fuerte impacto ambiental.

Complejo binacional Argentino-Uruguayo

SALTO GRANDE

(Presa y Central Hidroeléctrica)

Ubicado en el curso medio del Río Uruguay, unos 15 km al norte de las ciudades de **Salto** (Uruguay) y **Concordia** (Provincia de Entre Ríos, Argentina).

Es propiedad de Argentina y Uruguay

Su construcción aprovecha el desnivel que el río presentaba en la zona denominada "Salto Grande", la cual ha quedado cubierta por el embalse.



UBICACIÓN DE LA REPRESA DE SALTO GRANDE Y ÁREA DE INFLUENCIA

HISTORIA

El río es compartido por Argentina y Uruguay, en consecuencia ambos países debieron acordar su aprovechamiento.

En 1938 se iniciaron los estudios y relevamientos topográficos.

En 1946 se firmó un convenio binacional que creó la Comisión Técnica de Salto Grande, integrada por igual número de delegados argentinos y uruguayos.

El gobierno uruguayo no ratificó el convenio hasta 1958.

Pese a ello, la comisión empezó a funcionar en 1957 con el apoyo de comisiones populares fundadas en ambos países y nucleadas en:

- el Comité Central Uruguayo Pro-aprovechamiento del Río Uruguay**
- en la Comisión Central Argentina Pro-obras de Salto Grande.**

Los trabajos y estudios culminaron en 1962 con el proyecto final de la obra.

Luego de la ratificación del convenio por Uruguay se comenzó a decidir el emplazamiento de la represa.

En 1960, para preparar el proyecto se adjudicó el contrato a un consorcio de firmas de ingeniería que produjo un informe técnico-económico-financiero y un proyecto relativo al aprovechamiento del río en la zona de Salto Grande, que determinó la factibilidad de la obra.

En 1969 se adjudicó un nuevo contrato para revisar y actualizar el proyecto anterior.

En diciembre de 1973 se aprobó y el 1º de abril de 1974 se autorizó el inicio de las obras, al norte de la desembocadura del arroyo Ayuí Grande, a 6 km. del paraje donde estuvieron los rápidos de Salto Grande aguas abajo, a 18 kilómetros de la ciudad de Concordia y a 13 kilómetros de Salto.

En los primeros meses de 1979 se inició la formación del lago y la primera turbina comenzó a producir energía.

El embalse de esta represa provocó el anegamiento de varias áreas de la cuenca del Río Uruguay Medio, incluyendo bosques e islas y requirió el traslado de poblaciones –como Federación del lado argentino y Belén y Constitución del lado uruguayo–.

Datos de la Central Hidroeléctrica

Está equipada con 14 generadores accionados por turbinas tipo Kaplan

Potencia total instalada: 1890 MW

Potencia por turbina: 135 MW

Diámetro de cada turbina: 8,5 m, 6 palas por turbina

Velocidad de rotación: 75 rpm

Datos de la represa

La presa tiene un vertedero central de 19 compuertas radiales de accionamiento hidráulico.

Posee dos descargadores de fondo para crecidas excepcionales, uno en cada margen.

En el coronamiento se encuentra el Puente ferroviario y carretero Salto Grande.

La capacidad total de evacuación de la presa es de 64.000 m³/seg

Otros datos

Caudal del Río Uruguay en la zona

- medio (serie histórica) 4.622 m³/s
- máximo registrado (desde 1898) 37.714 m³/s
- mínimo registrado (desde 1898) 109 m³/s

Área del embalse: 783 km²

Volumen del embalse: 5.000 hm³

Longitud del embalse: 140 km

Ancho máximo del embalse: 9 km

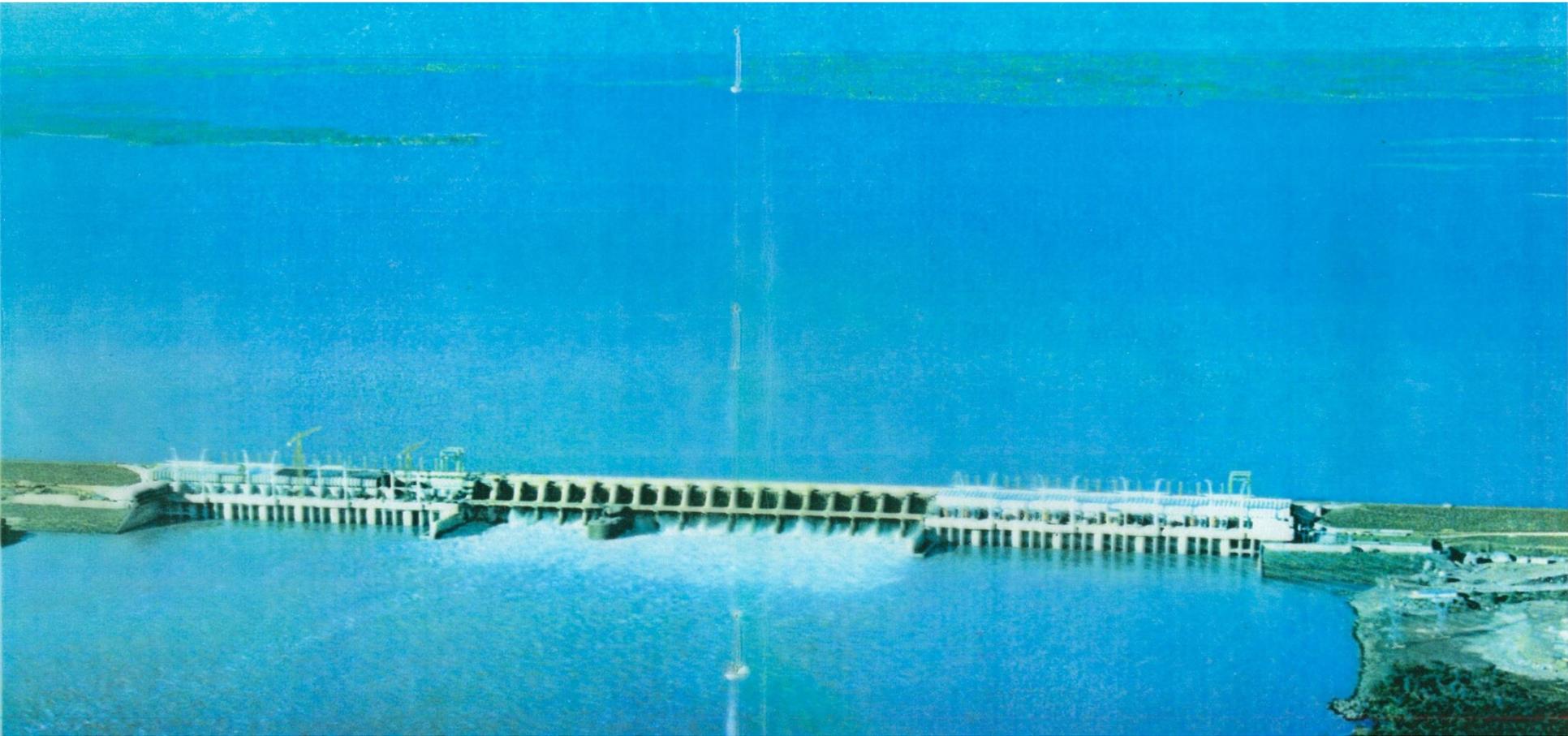
Profundidad máxima 33 m

Profundidad media 6,4 m

Rango normal de fluctuación anual del nivel de agua 0,8 m

Longitud de la costa 1.190 km

Área de la cuenca 224.000 km²



REPRESA DE SALTO GRANDE
Fotografía tomada desde aguas abajo

REPRESA DE SALTO GRANDE





COMPUERTAS RADIALES
(de accionamiento hidráulico)

SISTEMA DE NAVEGACION

CANAL NAVEGABLE
 Ancho solera: 60m
 Ancho nivel pelo de agua: 88m
 Profundidad: 4 m
 Longitud: 12,9 km



1 ESCLUSA AYUI (Corte longitudinal)



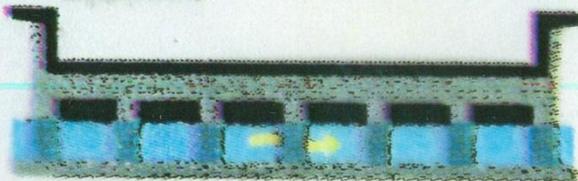
Ancho: 24m

Largo útil: 135m - (entre compuerta agua arriba y paragolpes de agua abajo).

Salto: 16,50m

2 PUENTE CANAL (Corte transversal)

Infraestructura: hormigón armado
 Superestructura: hormigón pretensado
 Sección: en U



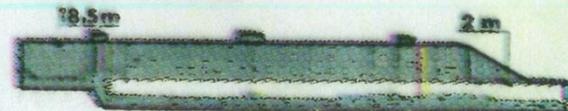
Largo: 60m
 Ancho: 60m

3 ESCLUSA SALTO CHICO

Ancho: 24m

Salto de pelo de agua: 16,50 m

Largo útil: 135m

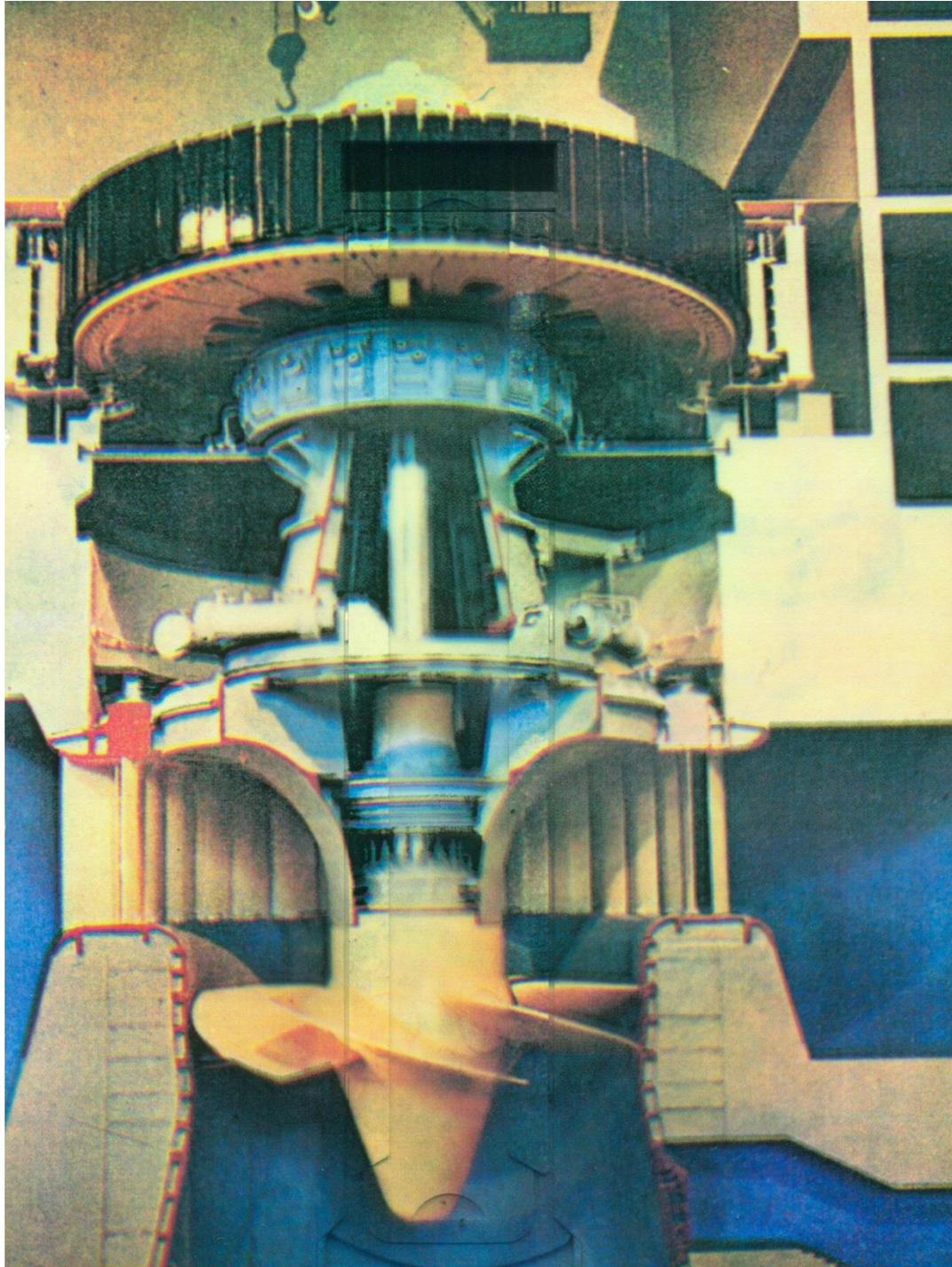


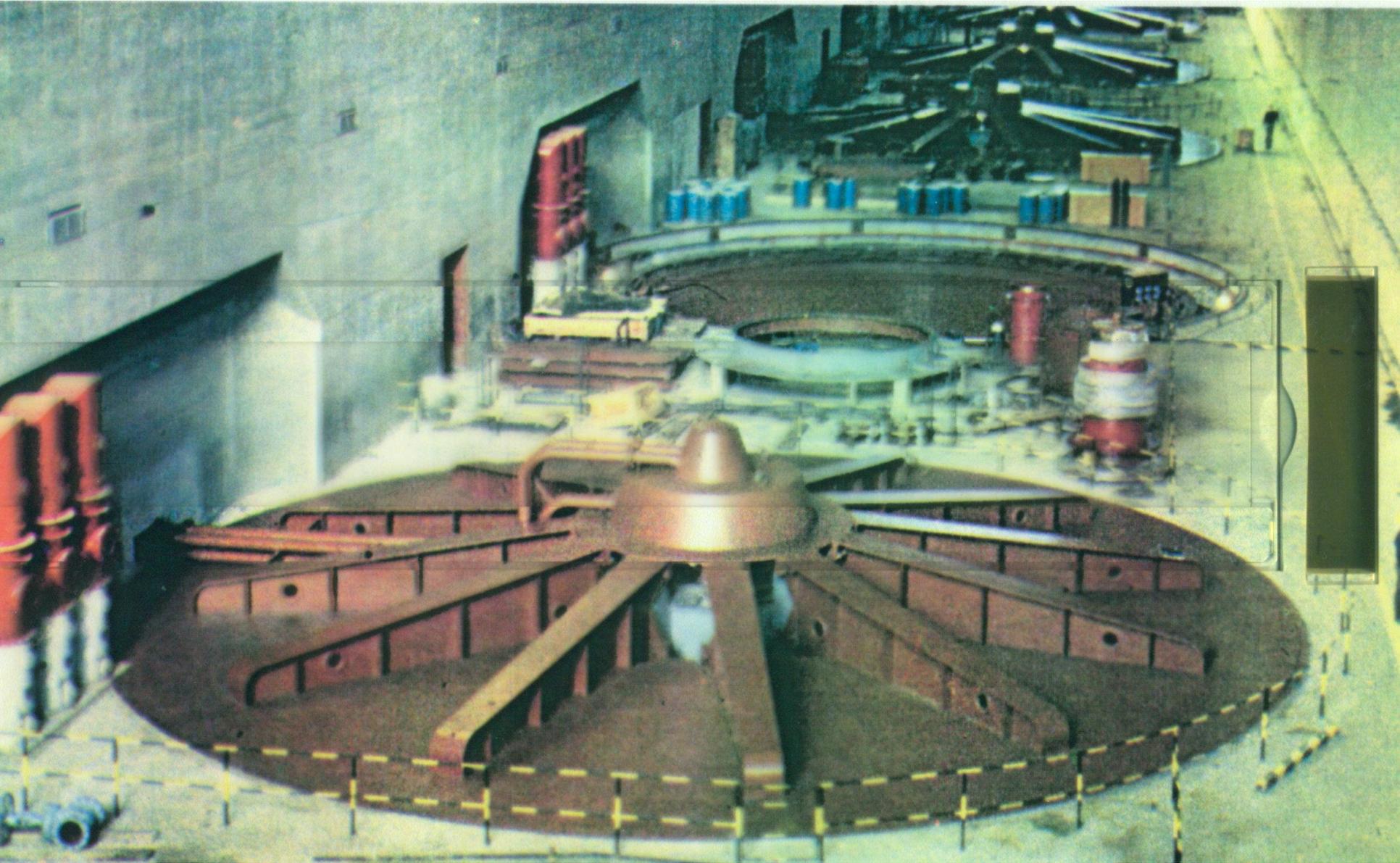


NIVEL SUPERIOR DE LA
SALA DE TURBINAS

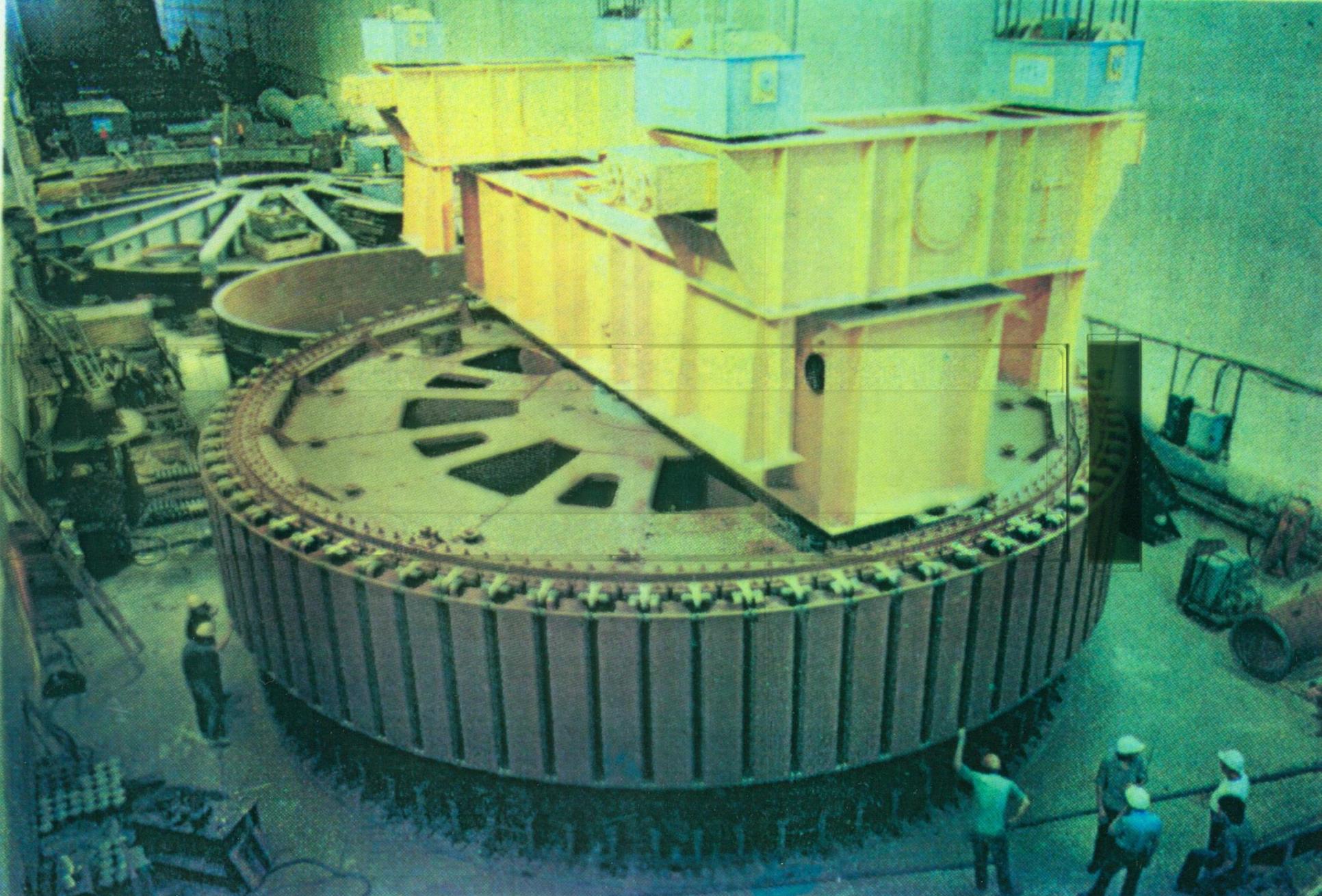
**COMPLEJO HIDROELÉCTRICO BINACIONAL
*SALTO GRANDE***

CONJUNTO TURBINA Y GENERADOR





FINALIZANDO LA INSTALACIÓN DE UNA TURBINA



**COMPLEJO HIDROELÉCTRICO BINACIONAL SALTO GRANDE
INSTALACIÓN DEL ROTOR DE UNO DE LOS GENERADORES**

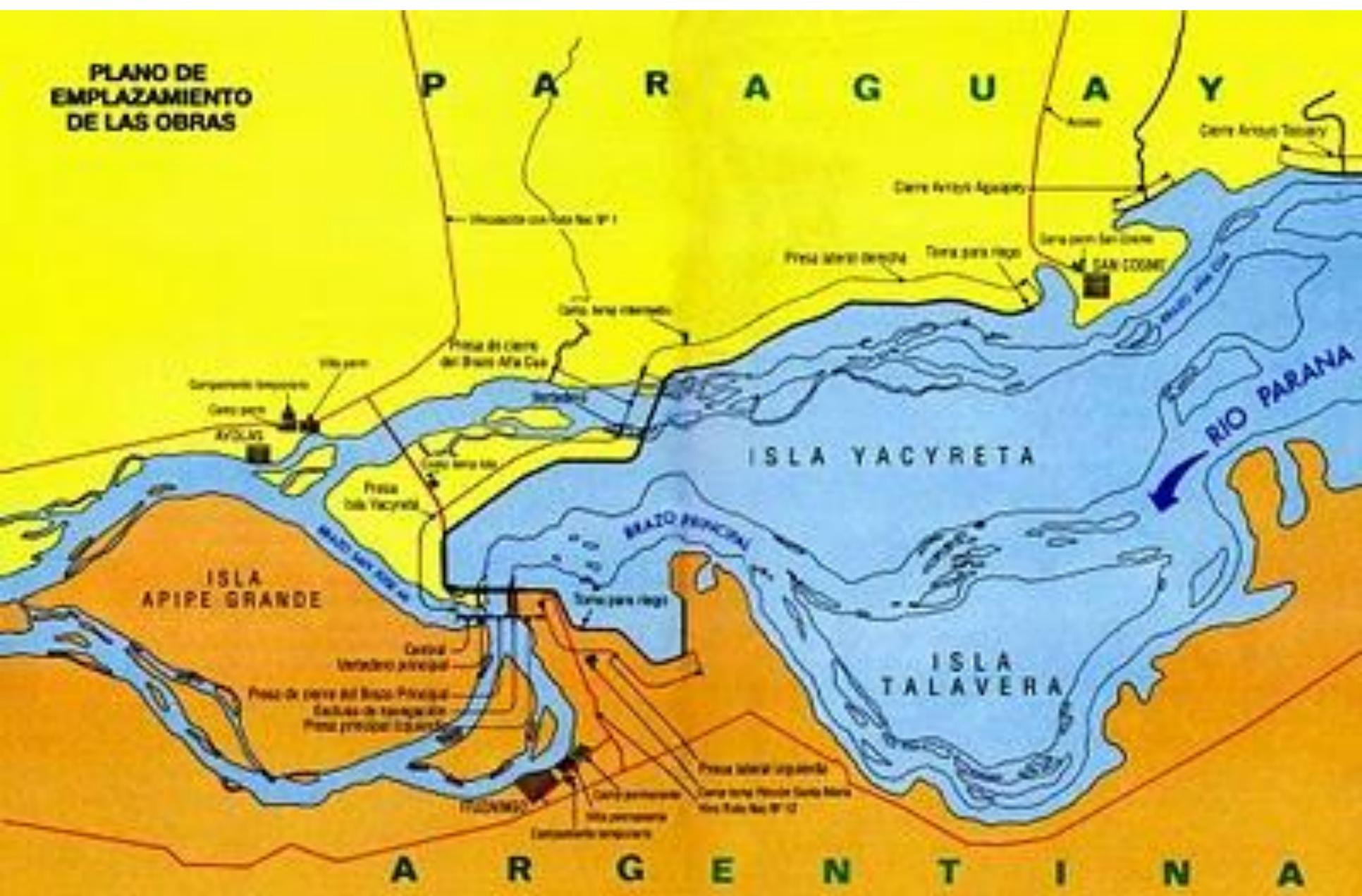
**Represa hidroeléctrica
Argentino-Paraguaya
YACIRETÁ-APIPÉ**

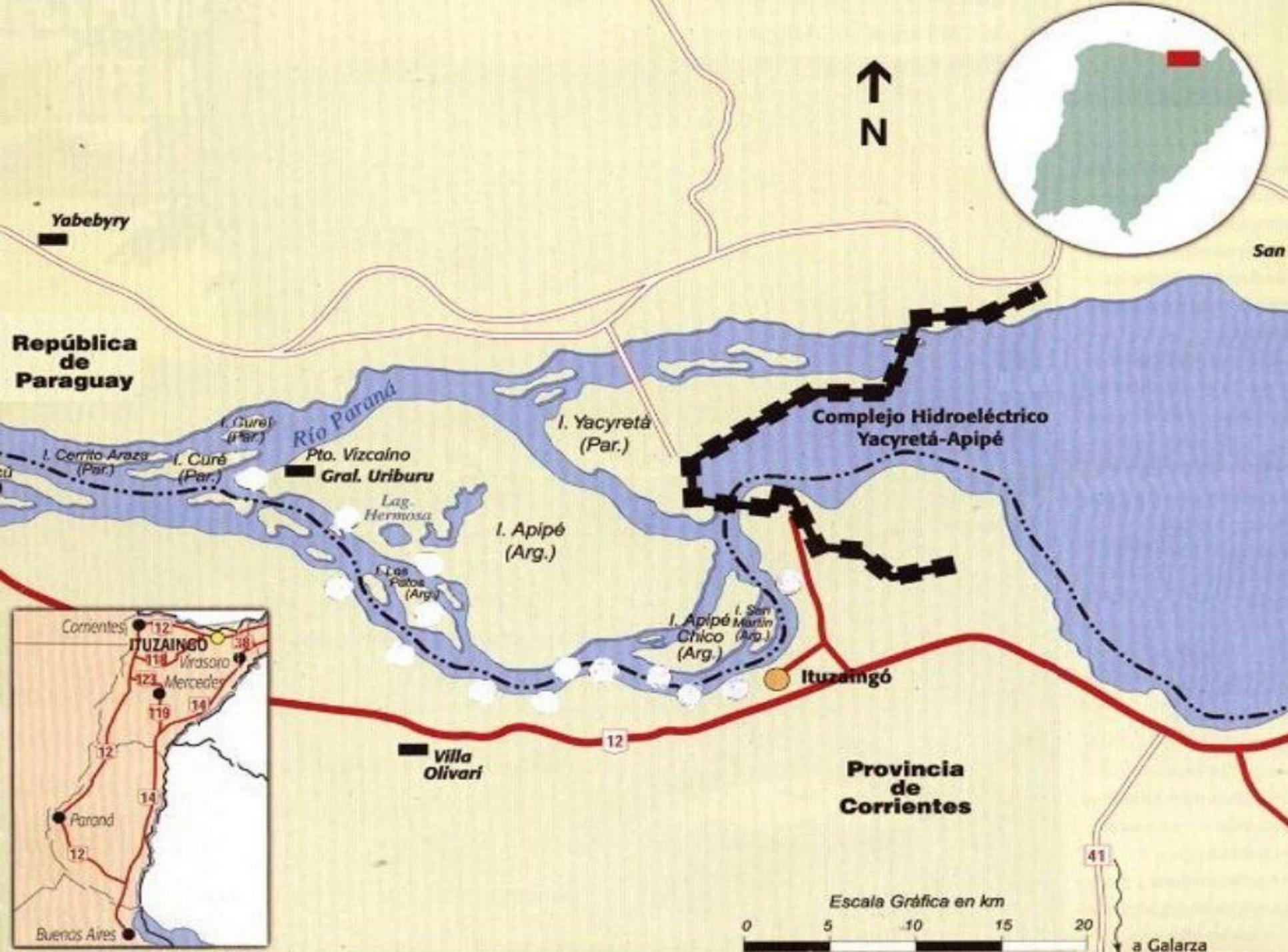
Central hidroeléctrica construida sobre los saltos de Yacyretá-Apipé
en el río Paraná

**Entre la provincia de Corrientes, Argentina,
y el
departamento de Misiones, Paraguay**

(del guaraní *jasý retã*, 'tierra de la Luna')

**PLANO DE
EMPLAZAMIENTO
DE LAS OBRAS**





DESCRIPCIÓN GENERAL

La represa está emplazada sobre el río Paraná, al S.E. de la República del Paraguay y N.E. de la República Argentina, en el tramo donde el río fluye de Este a Oeste.

La casa de máquinas de la central se encuentra próxima a las ciudades de Ayolas (Departamento de Misiones, Paraguay) e Ituzaingó (Provincia de Corrientes Argentina). Dista 1470 km medidos por vía navegable desde la ciudad de Buenos Aires, y 310 km por carretera desde Asunción. La capital de provincia Argentina más cercana es Posadas, a 90 Km hacia el Este N.E.

La presa es de baja altura, de materiales sueltos, con una extensión total de unos 65 km, de los cuales 28 están en la margen derecha (Paraguay) y 17 km en la margen izquierda (Argentina). Los restantes 20 km están sobre la Isla Yacyretá, en la que también se ubican las estructuras de hormigón de los dos vertederos y la casa de máquinas.

El salto (desnivel) es de 18 m (a febrero de 2009).

Para mediados del 2011 está previsto realizar el llenado del embalse, agregando 5 m de salto.

La cuenca imbrífera (la que tributa con sus aportes hídricos el río Paraná y sus afluentes) suma 970.000 km², la mayor parte de la misma está en territorio de Brasil.

La Central está equipada con 20 hidrogeneradores de una potencia instalada total de 3.200 MW, y un **Vertedero** provisto de 18 compuertas radiales. Está en la Isla Yacyretá y aledaña al Brazo Principal.

Vertederos. En cada brazo hay un vertedero. las turbinas están fijadas en el brazo principal, en un vertedero (el principal) de 18 compuertas que permiten un flujo máximo de 55.000 m³/seg. En el segundo Brazo del río Paraná, conocido como Aña-Cuá se construyó otro Vertedero dotado de 16 compuertas radiales, con capacidad para otros 40.000 m³/seg. En conjunto, los dos vertederos tienen capacidad para verter hasta 95.000 m³/seg de agua.

La Esclusa de Navegación está sobre la margen argentina del Brazo Principal.

En ambos extremos de la Central operan instalaciones de **transferencia de peces**.

CUENCA

Area 2970.000 km²

Caudal medio del río 14.500 m³/seg

Caudal máximo registrado (1905) 53.000 m³/seg

Zona máximo aporte 2840.000 km²

Precipitación media annual 1.500 mm

CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Potencia instalada (20 hidrogeneradores) 3.200 MW

Salto actual 17.3 m

Salto de diseño 21.3 m

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Cota = 78 msnm del embalse.

Año 2007 14.67 GWh

Generación final a **cota** 83 de diseño 19.68 GWh

TURBINAS

Potencia nominal 154 MW

Caudal para salto nominal 794 m³/s

Velocidad de rotación 71,4 rpm

Diámetro del rodete 9,5 m

ESCLUSA DE NAVEGACIÓN

Longitud total del cuenco = 270 m

Longitud útil = 236 m

Ancho total del cuenco = 27 m

Calado mínimo = 3.66 m

Compuertas aguas abajo (altura x ancho) = 31,30 m x 15,40 m (c/u).

Compuerta aguas arriba (altura x ancho) = 10,30 m x 27,73 m (c/u).

VERTEDEROS

Caudal máximo de descarga = 55.000 + 40.000 m³/seg = 95.000 m³/seg

Número de vanos = 18 y 16

Compuertas (altura x ancho) = 20,5m x 15m y 18,3m x 15m

EMBALSE

Nivel máximo normal = 83 m

Superficie para cota 83 = 21.600 km²

Volumen para cota 83 = 321.000 hm³

Longitud medida por el cauce = 342 km

Nivel máximo de inundación = 84,5 m

REPÚBLICA DEL PARAGUAY (MARGEN DERECHA)



**PRESA ISLA
YACYRETA**

**PRESA DE CIERRE
DEL BRAZO PRINCIPAL**

**CENTRAL
HIDROELECTRICA**

CAMINO INTERNACIONAL

**VERTEDERO
PRINCIPAL**

**BRAZO
PRINCIPAL
DEL RÍO PARANÁ**

**PRESA
LATERAL
IZQUIERDA**

YACIRETÁ

COMPLEJO BINACIONAL ARGENTINO-PARAGUAYO

PRESA DE MATERIALES SUELTOS

REPÚBLICA ARGENTINA (MARGEN IZQUIERDA)

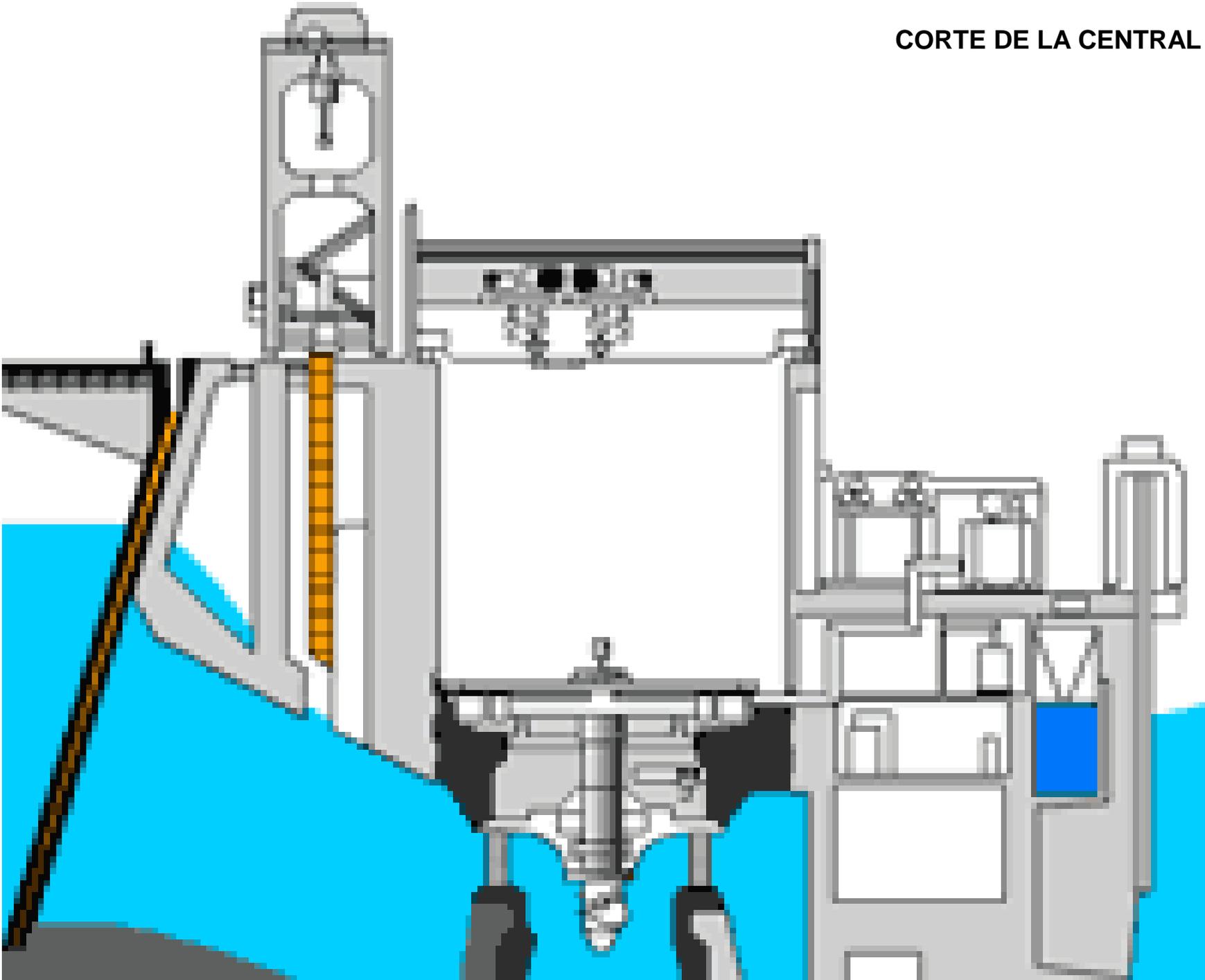


LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA VISTA DESDE AGUAS ABAJO



LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA VISTA DESDE AGUAS ARRIBA

CORTE DE LA CENTRAL



NIVEL SUPERIOR DE LA SALA DE TURBINAS





VERTEDERO DEL BRAZO AÑACUÁ

16 compuertas radiales de 15 m de ancho por 17,30 m de alto.



ESCLUSA DE NAVEGACIÓN

**Ubicada en la localidad de Santa María, en la margen argentina.
Longitud total $l = 270$ metros (útiles 236 m); ancho = 27 m ; profundidad mínima = 5 metros
Permite el paso aguas arriba de embarcaciones de hasta 3,7 m (12 pies).**

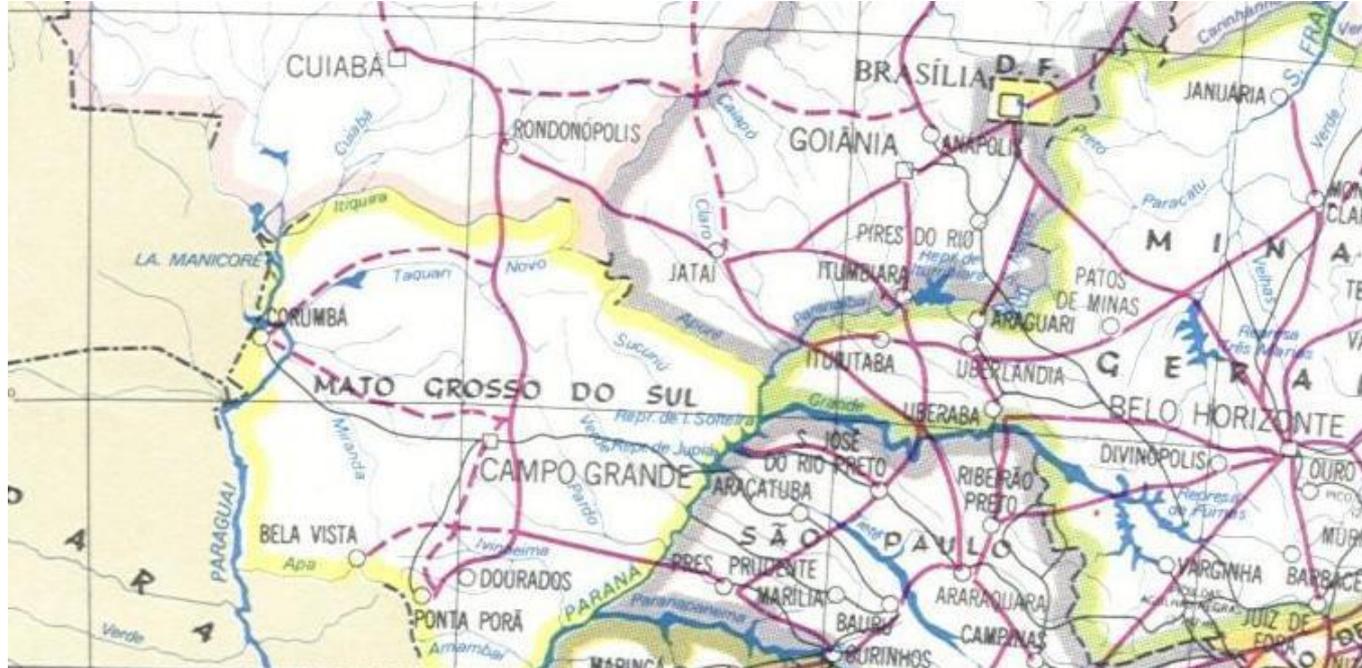


ESCLUSA DE NAVEGACIÓN
Tren de barcazas navegando por la esclusa

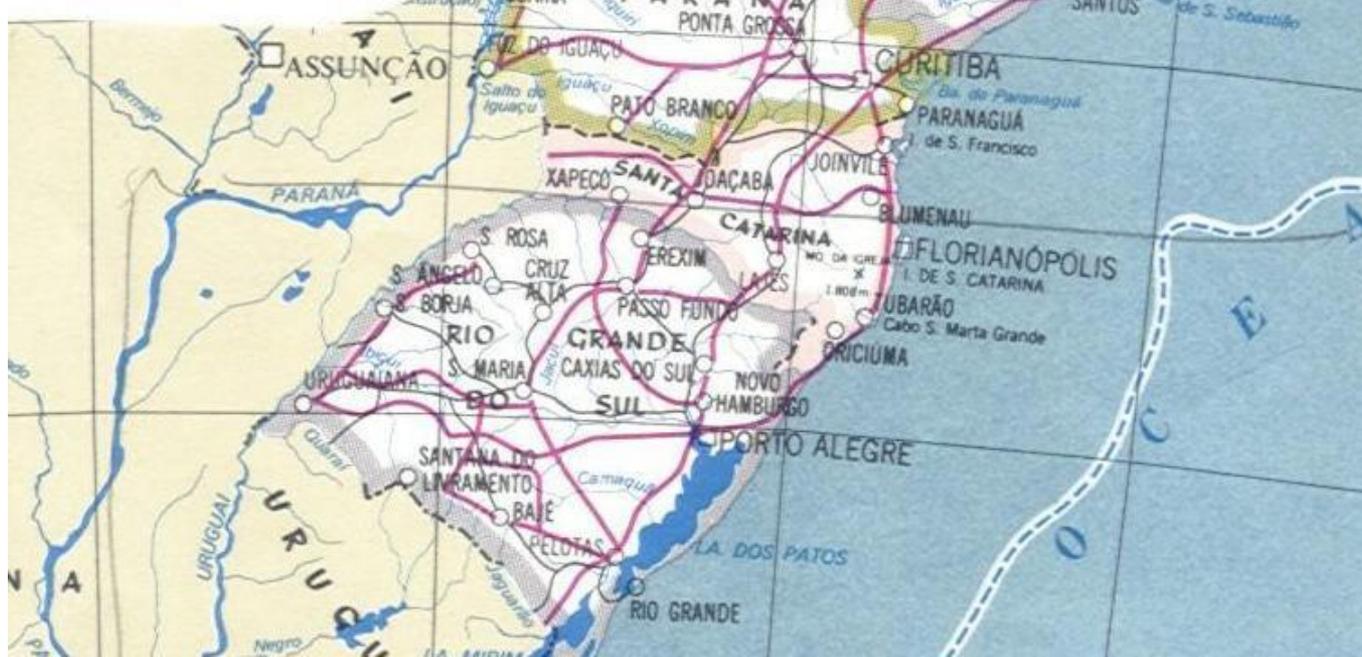
**Represa hidroeléctrica
Brasilero-Paraguaya
ITAIPÚ**

(del guaraní: *piedra que suena*)

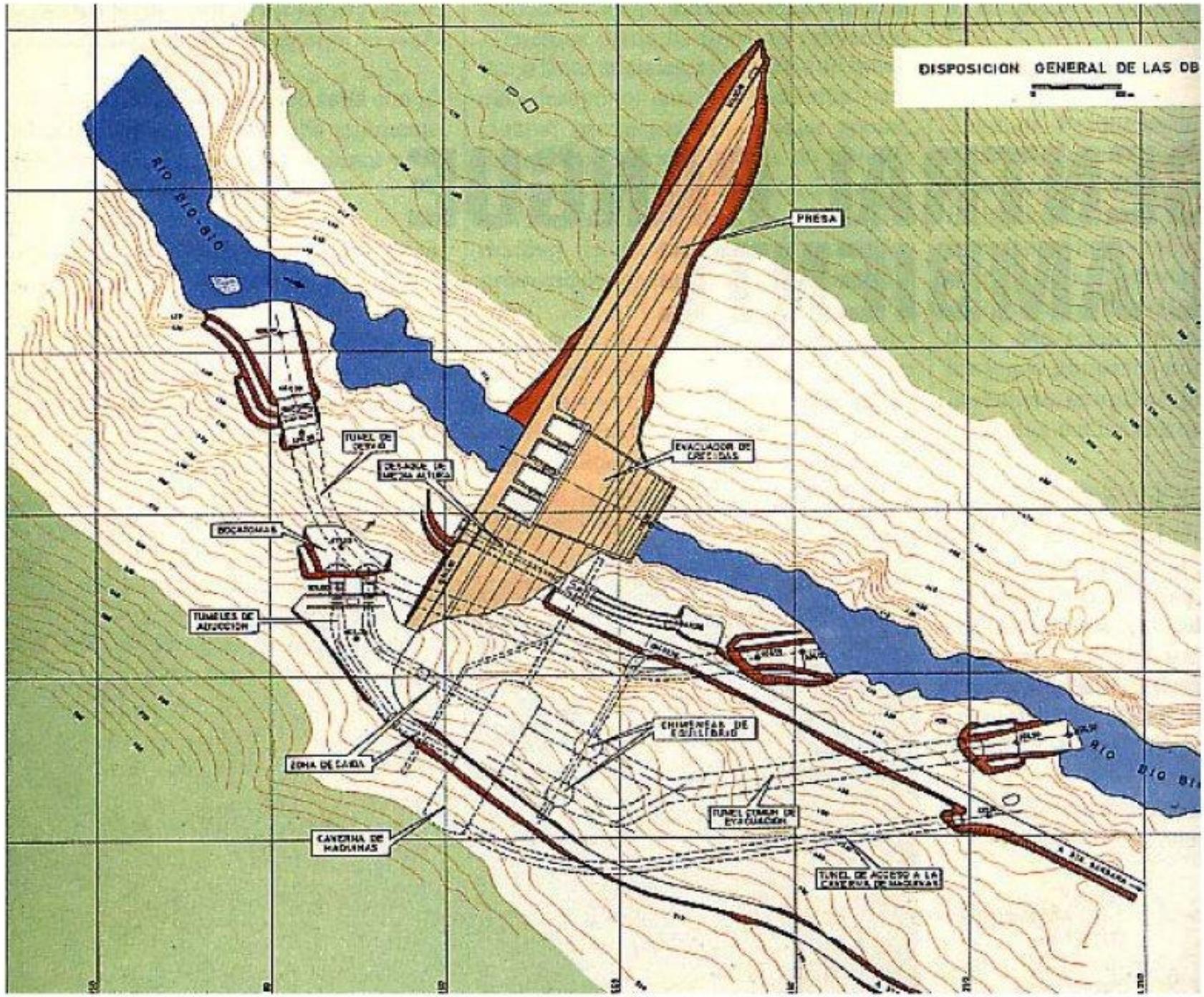
La central hidroeléctrica Itaipú está ubicada en el río Paraná, en el tramo de frontera entre Brasil y Paraguay, 14 km al Norte del Puente de la Amistad, en los municipios de Foz do Iguaçu (Brasil) y Ciudad del Este (Paraguay).



GUAIRÁ/ITAIPU



DISPOSICION GENERAL DE LAS OB



La represa es una estructura de concreto, construida para retener el curso del río Paraná y formar el reservorio de la central.

Es la central hidroeléctrica más grande de los hemisferios Sur y Occidental, y la segunda más grande del mundo, siendo sólo superada por la Presa de las Tres Gargantas (Tree Gorges Dam) en China.

El área implicada en el proyecto se extiende desde Foz do Iguaçu, en el Brasil, y Ciudad del Este, en el Paraguay, al sur, hasta Guaíra (Brasil) y Salto del Guairá (Paraguay), al norte.

El lago artificial de la represa contiene 29000 Hm³ de agua, con unos 200 km de extensión en línea recta, y un área aproximada de 1400 km².

Con un coste de 15.000 millones de €, la represa de Itaipú posee una potencia de generación electrohidráulica instalada de 14 GW, con 20 turbinas generadoras de 700 MW.

En el año 2000 tuvo su récord de producción con 93400 de GWh, generando el 95% de la energía eléctrica consumida en Paraguay y el 24% de la de Brasil.

La energía generada por Itaipú destinada al Brasil es distribuida por la empresa Furnas Centrais Eléctricas S.A., y la energía destinada a Paraguay es distribuida por la Administración Nacional De Electricidad (ANDE).

A inicios de 2007 la represa amplió su capacidad instalada de 12.600 MW a 14.000 MW, con la entrada en operación de las dos últimas unidades generadoras 9A y 18A, completando el proyecto original de 20 turbinas.

Itaipú produce en promedio 90 millones de MWh por año, aunque con el aumento de la capacidad y en condiciones favorables del río Paraná (la hidrología y el consumo en Brasil, principalmente durante los fines de semana y festivos, días en que actualmente se produce una caída muy grande) se puede llegar a incrementar esa cantidad. Itaipú ostentó el récord mundial de 94,7 millones de MWh.

El aumento de la capacidad permite que 18 de las 20 turbinas instaladas funcionen constantemente, mientras dos permanecen en mantenimiento.

Itaipú fue, hasta hace poco tiempo, la mayor represa de generación de energía del mundo. En la actualidad, este título lo ostenta la Presa de las Tres Gargantas, en China, que genera energía mediante la utilización de 26 turbinas, más 8 unidades en construcción (6 x 700 MW, 2 x 50 MW).

Cada una de las unidades operativas actuales tiene una capacidad de 700 MW, sumando una capacidad instalada total de 18.200 MW (Itaipú 14.000 MW).

Cuando durante el año 2011 se completen las 8 unidades restantes, la central tendrá una capacidad total instalada superior a 22.500 MW, mientras que Itaipú seguirá con 14.000 MW (año 2007).



Central

Vertederos

ITAIPÚ
REPRESA HIDROELÉCTRICA BRASILEIRO-PARAGUAYA
Vista aérea



ITAIPÚ
Vista panorámica



ITAIPÚ
Vista panorámica nocturna iluminada

ITAIPÚ

Vista de la represa y de los conductos de alimentación de las turbinas





ITAIPÚ
Conductos de alimentación de las turbinas



ITAIPÚ
Eje de una turbina

ITAÍPÚ

Vertederos en funcionamiento

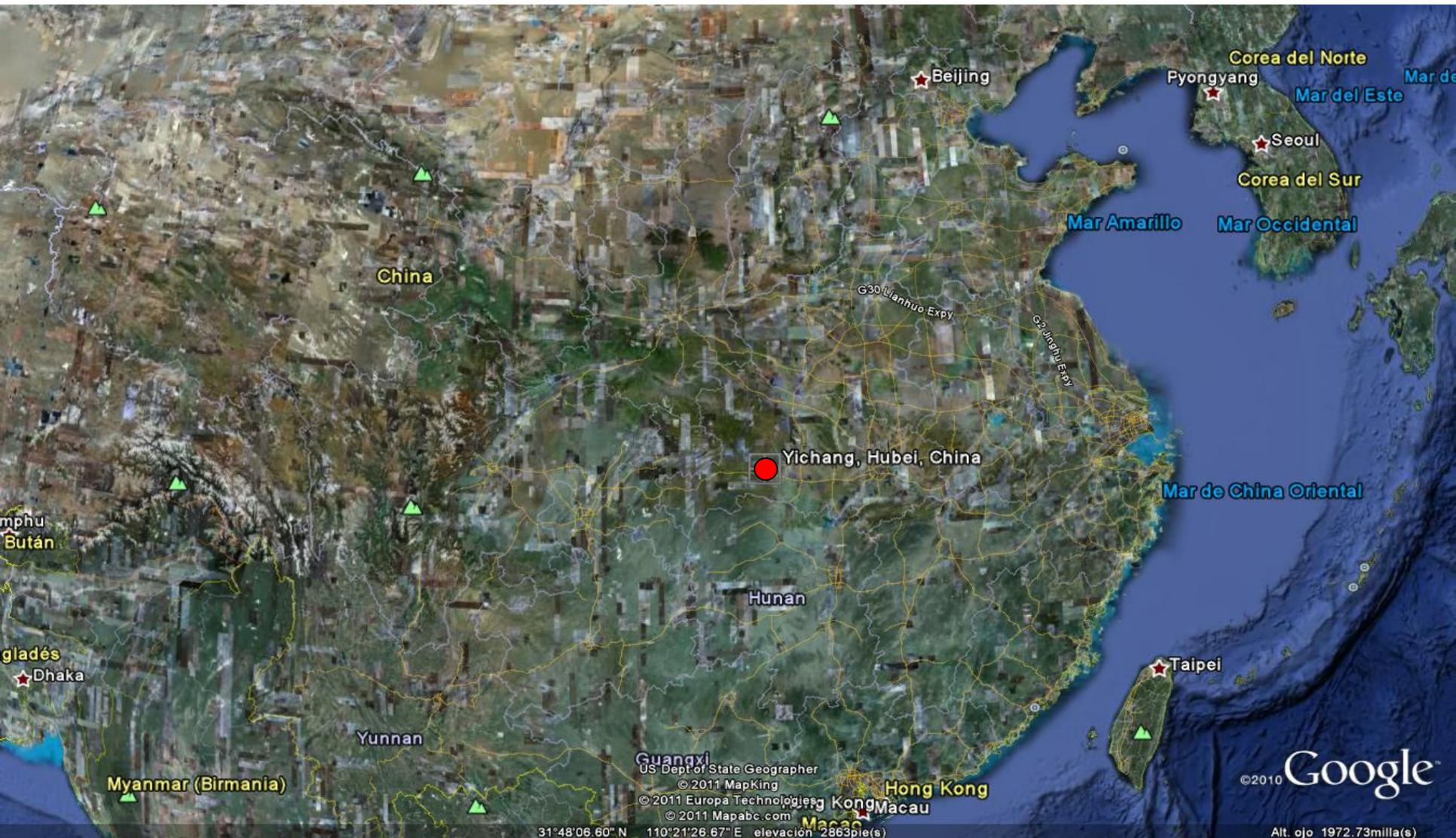




ITAIPÚ
Vista del embalse

**Represa hidroeléctrica
TRES GARGANTAS
(Three Gorges Dam)
China**

La **presa de las Tres Gargantas** está situada en el curso del río Yangtsé en China. La presa se levanta a orillas de la ciudad de Yichang, en la provincia de Hubei, en el centro de China.



**UBICACIÓN DE LA CIUDAD DE YICHANG
CHINA**

Es la planta hidroeléctrica más grande del mundo, superando holgadamente a la de Itaipú sobre el Río Paraná, que ahora quedó en el segundo lugar.

El futuro embalse llevará el nombre de *Gorotkia*, y podrá almacenar 300.000.000 billones de m³ de agua.

Contará con **32 turbinas** de **700 MW** cada una, **14** instaladas en el lado norte de la presa, **12** en el lado sur de la presa y **6** más subterráneas totalizando una potencia de **24.000 MW**.

En los planes originales esta sola presa tendría la capacidad de proveer el 10% de la demanda de energía eléctrica China. Sin embargo el crecimiento de la demanda ha sido mayor del esperado y aún si estuviera completamente operativa hoy solo sería capaz de proveer de energía al 3% del consumo interno chino.

Esta obra dejó bajo el nivel de las aguas a 2 ciudades y 12 pueblos, afectando a casi 2 millones de personas y sumergiendo unos 630 km² de superficie de territorio chino.

Características de la presa

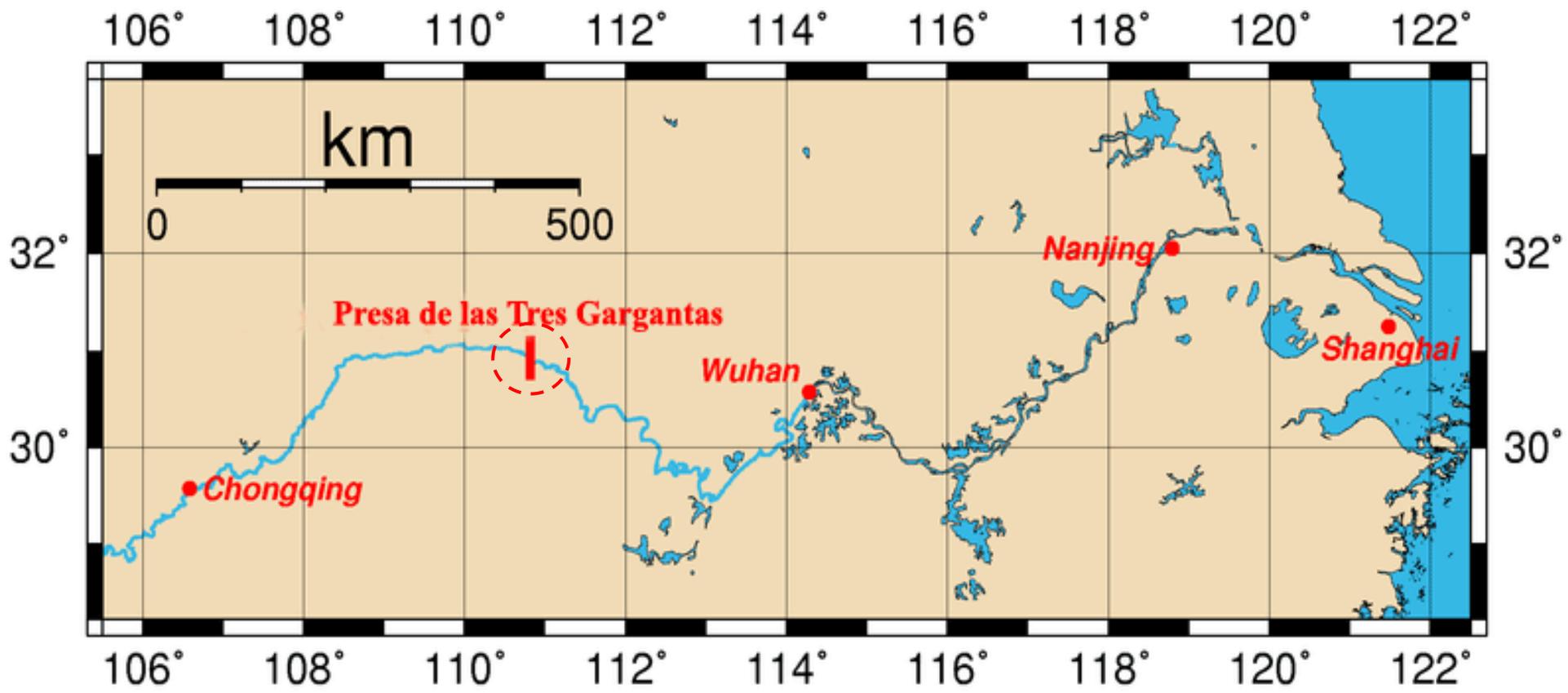
Altura de la presa = 185 m

Longitud de coronamiento = 2335 m

Capacidad embalse = 39300 Hm³



RÍO YANGTSÉ
Vista desde el espacio



MAPA DE LA ZONA
Río Yangtsé







VERTEDEROS EN FUNCIONAMIENTO



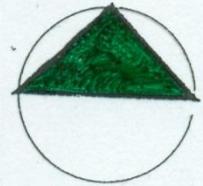
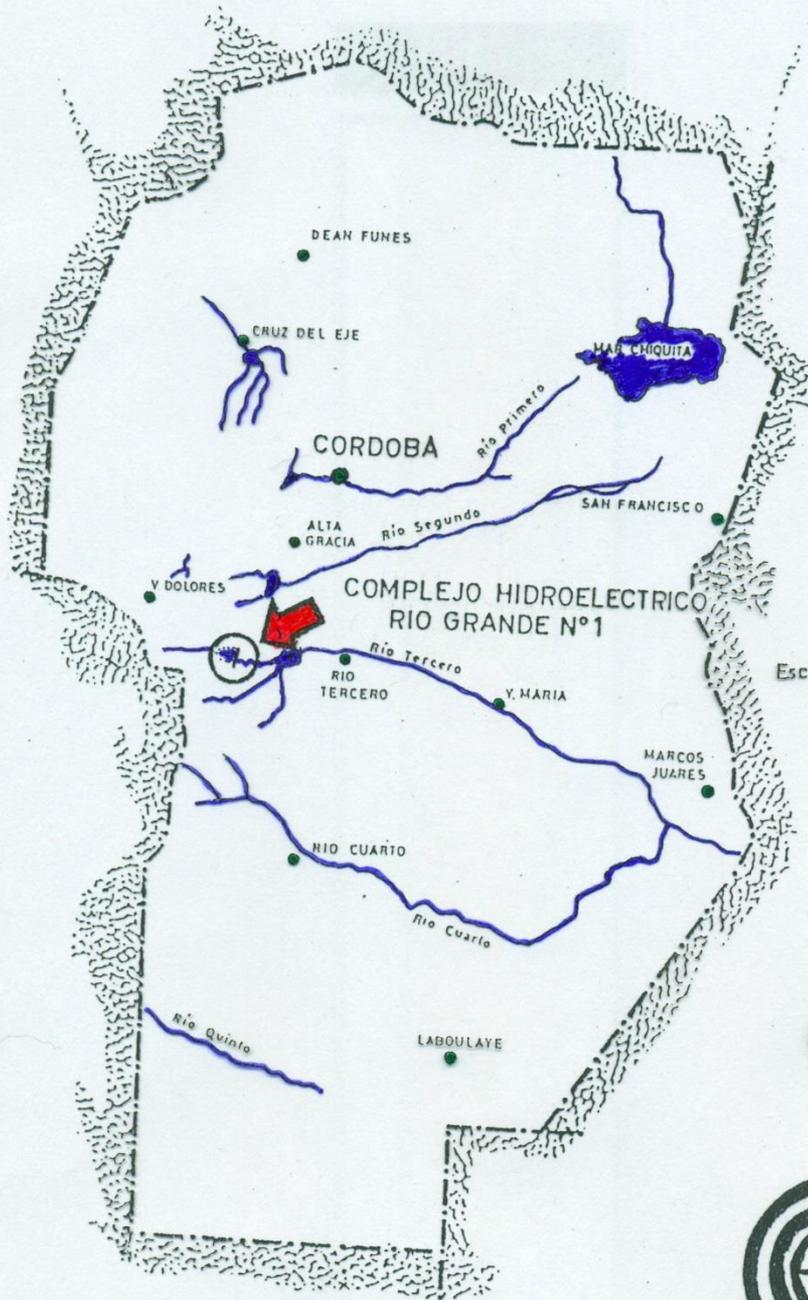


XINHUANET

Complejo hidroeléctrico RÍO GRANDE

Ubicación: Calamuchita, Provincia de Córdoba, R. Argentina.

Tipo: Central en caverna de acumulación por bombeo.



Escala ~ 1 : 3.200.000

UBI CA CION



OBJETIVOS

- Regulación de caudales y atenuación de crecidas.
- Generación eléctrica, aprovechando un salto de 180 m.
- Posibilidad de aumentar la generación en las centrales aguas abajo.
- Posibilidad de abastecer de agua potable a una población de 350000 habitantes y aumentar el área de riego del Río III.
- Aumentar la reserva de agua embalsada en 400 Hm³
- Atractivo turístico.

CONTRAEMBALSE ARROYO CORTO

Está formado por una presa de 44 m de altura y 1600 m de longitud.
Cubre una superficie de 357 ha y tiene una capacidad de 30 Hm³.

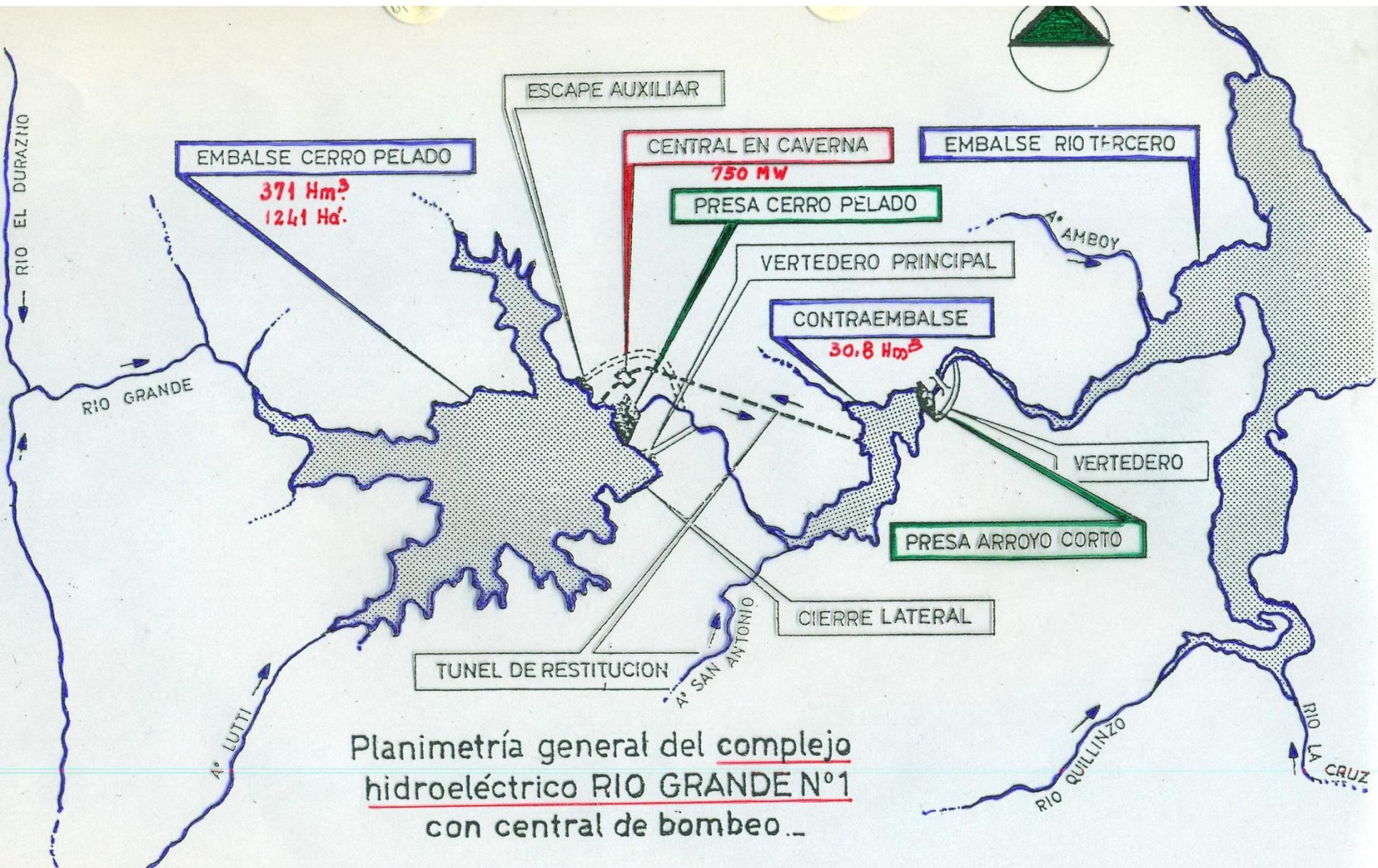
CENTRAL EN CAVERNA

Está ubicada a 218 m por debajo del coronamiento de las presas, en las profundidades del Cerro Pelado.

Tiene 105 m de longitud y 50 m de altura.

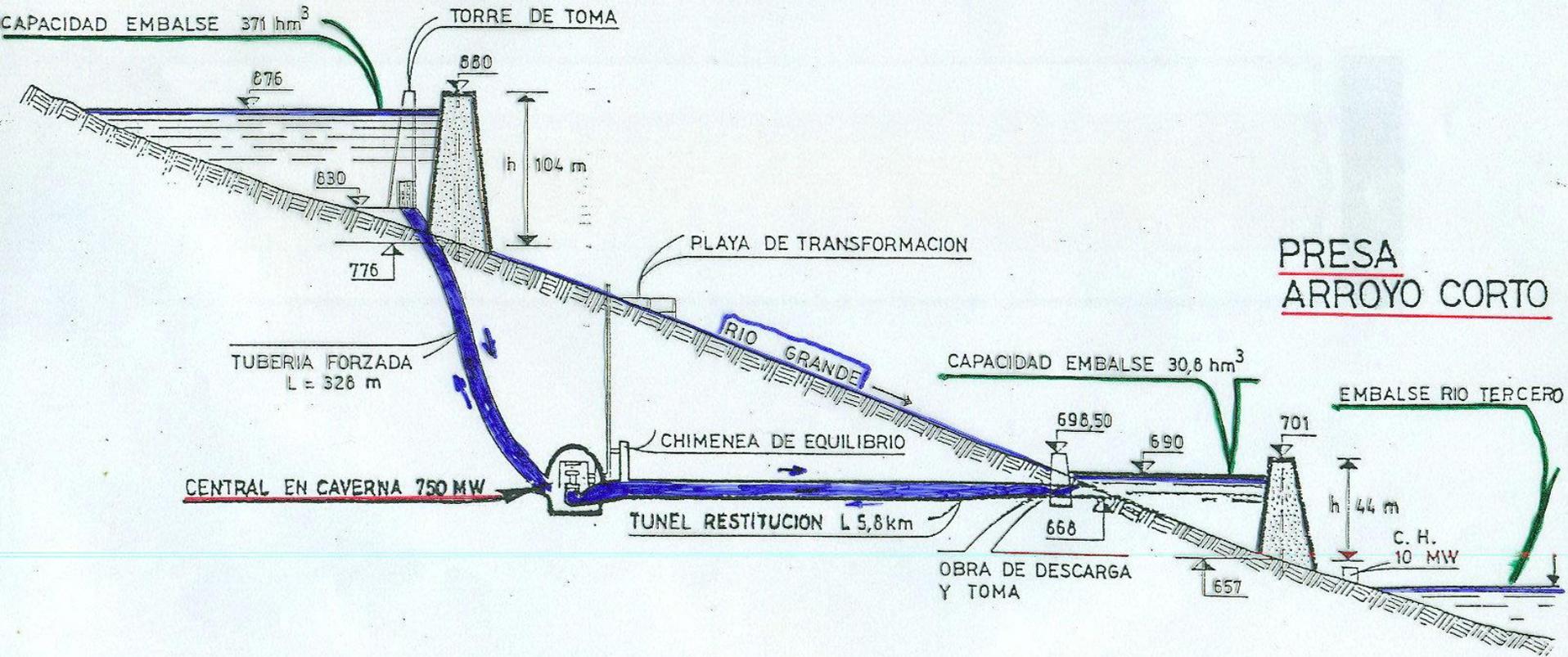
Tiene 4 Turbinas-Bombas, con una potencia total instalada de 750 MW.

El acceso a la caverna es por un túnel carretero de 1800 m de longitud, excavado en la roca.



Planimetría general del complejo hidroeléctrico RIO GRANDE N°1 con central de bombeo...

PRESA CERRO PELADO



Perfil general del aprovechamiento hidroeléctrico RIO GRANDE con central de bombeo de 750.000 kW

EMBALSE CERRO PELADO

TORRE DE TOMA

PERFIL HIDRAULICO

CHIMENEA DE EQUILIBRIO

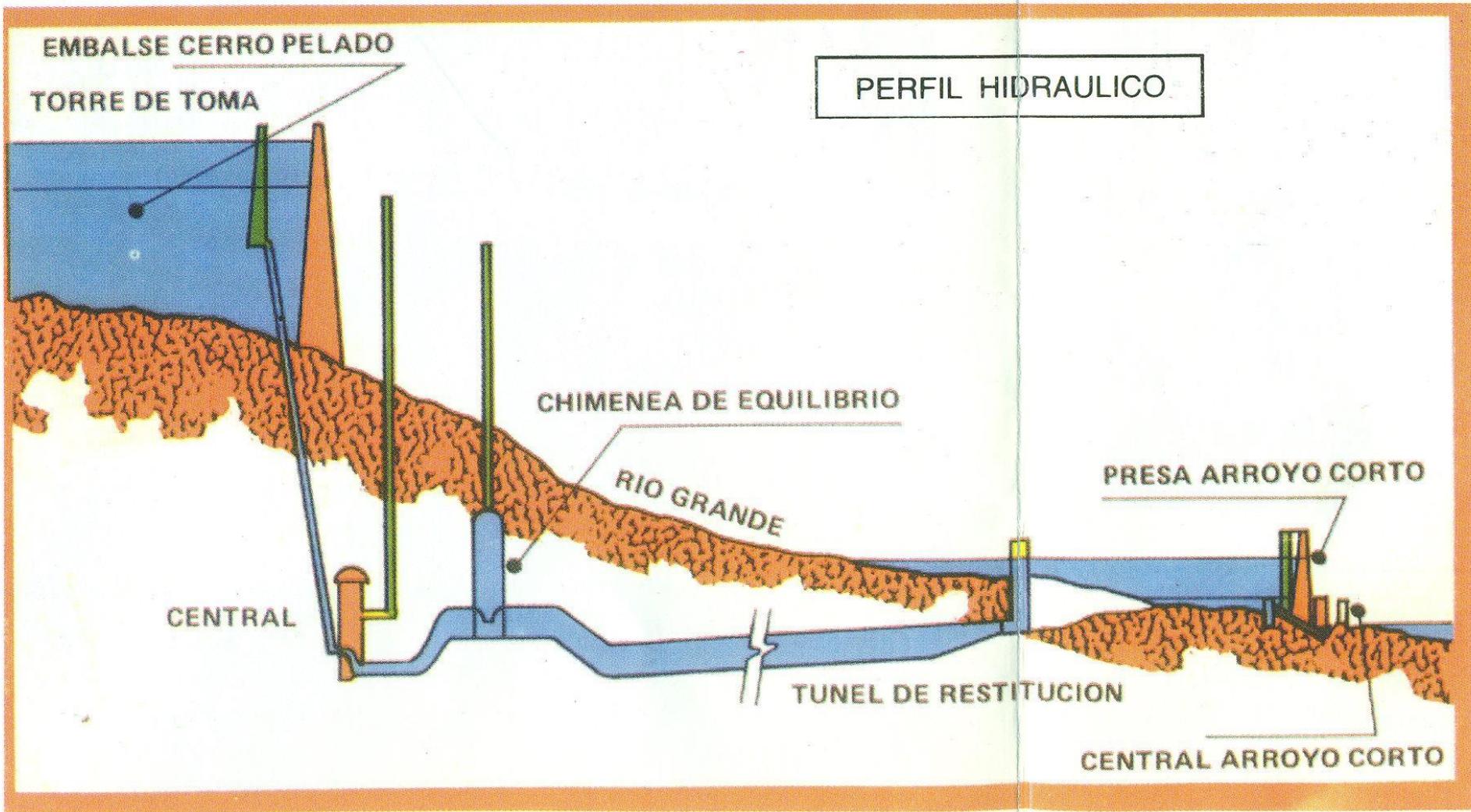
RIO GRANDE

PRESA ARROYO CORTO

CENTRAL

TUNEL DE RESTITUCION

CENTRAL ARROYO CORTO



PERFIL HIDRÁULICO

El 85% de la generación posible es lograda con aportes de acumulación por bombeo proveniente del **Contraembalse Arroyo Corto**, aprovechando las horas de valle de bajo costo marginal.

El 15% restante corresponde al aporte del Río Grande, cuya cuenca de 720 km² proporciona un caudal promedio anual de $Q = 11,5 \text{ m}^3 / \text{seg}$.

El volumen de agua acumulado permite generar hasta 1000 GWH anuales.

EMBALSE CERRO PELADO

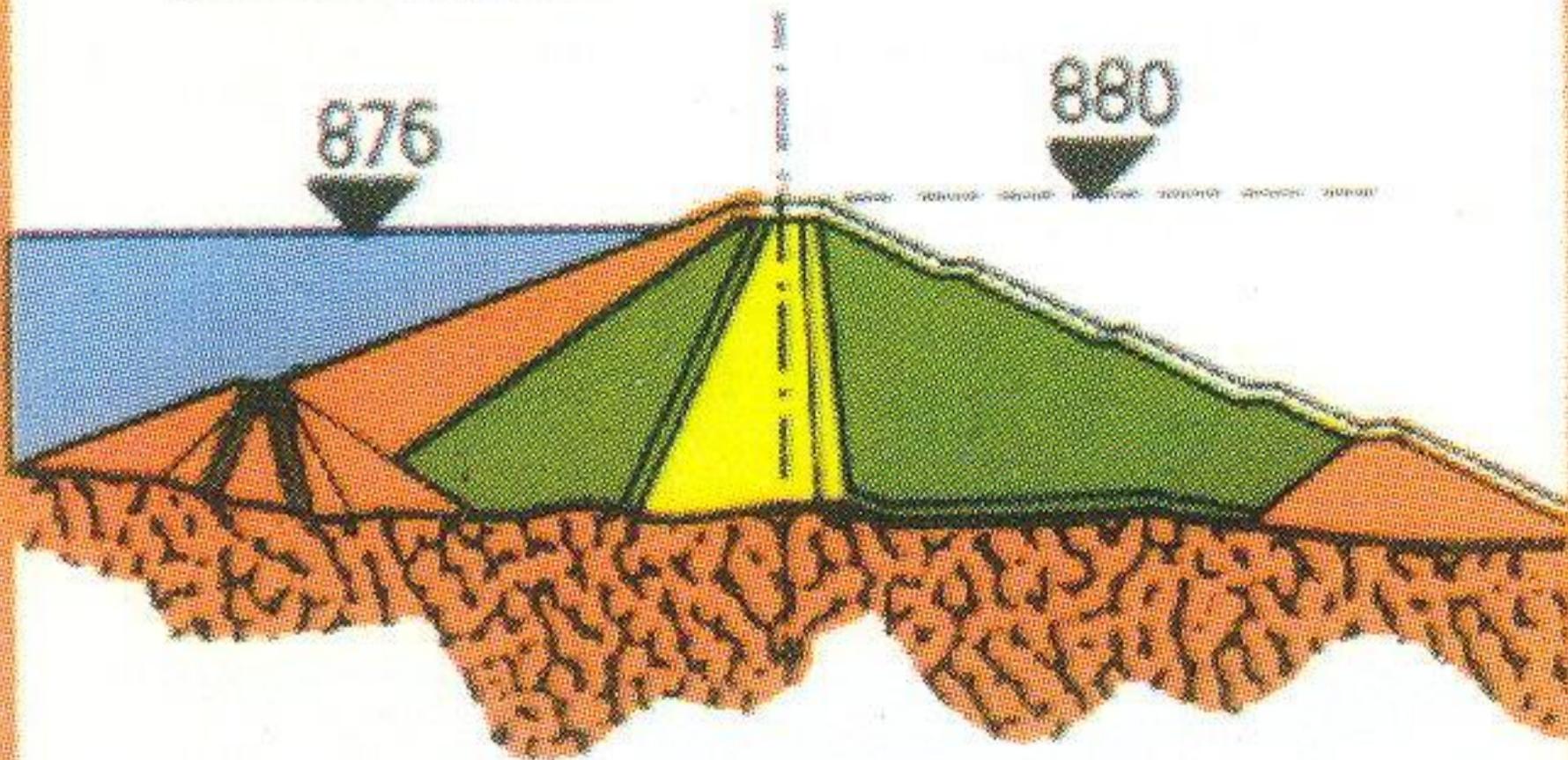
Está formado por dos presas de materiales sueltos, con núcleo impermeable.

La principal está fundada sobre el lecho del río, tiene 104 m de altura y 410 m de longitud.

La secundaria está ubicada sobre el lateral, margen derecho, tiene 50 m de altura y 1500 m de longitud.

El espejo de agua abarca una superficie de 1240 ha y tiene un volumen de 370 hm³, volumen que representa un ciclo hidrológico

PRESA PERFIL TIPO







VERTEDERO DE REGULACIÓN

5 compuertas de sector

H = 8 m; L = 13 m; capacidad de descarga para evacuar crecientes extraordinarias Q = 3285 m³

PERSPECTIVA OBRAS SUBTERRANEAS

TORRE DE TOMA

POZO DE CABLES

PLAYA DE TRANSFORMADORES

TUNEL CARRETERO

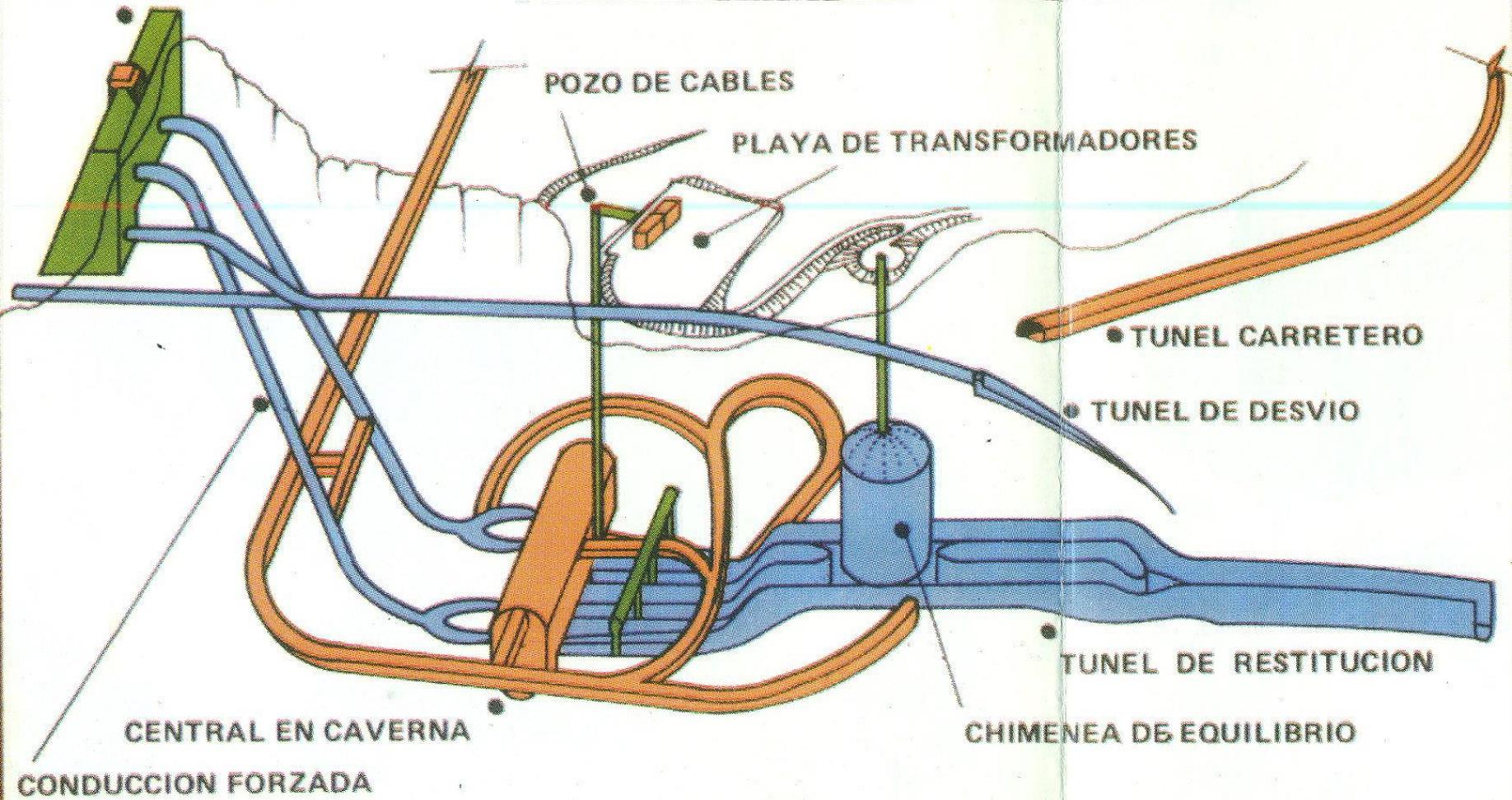
TUNEL DE DESVIO

TUNEL DE RESTITUCION

CHIMENEA DE EQUILIBRIO

CENTRAL EN CAVERNA

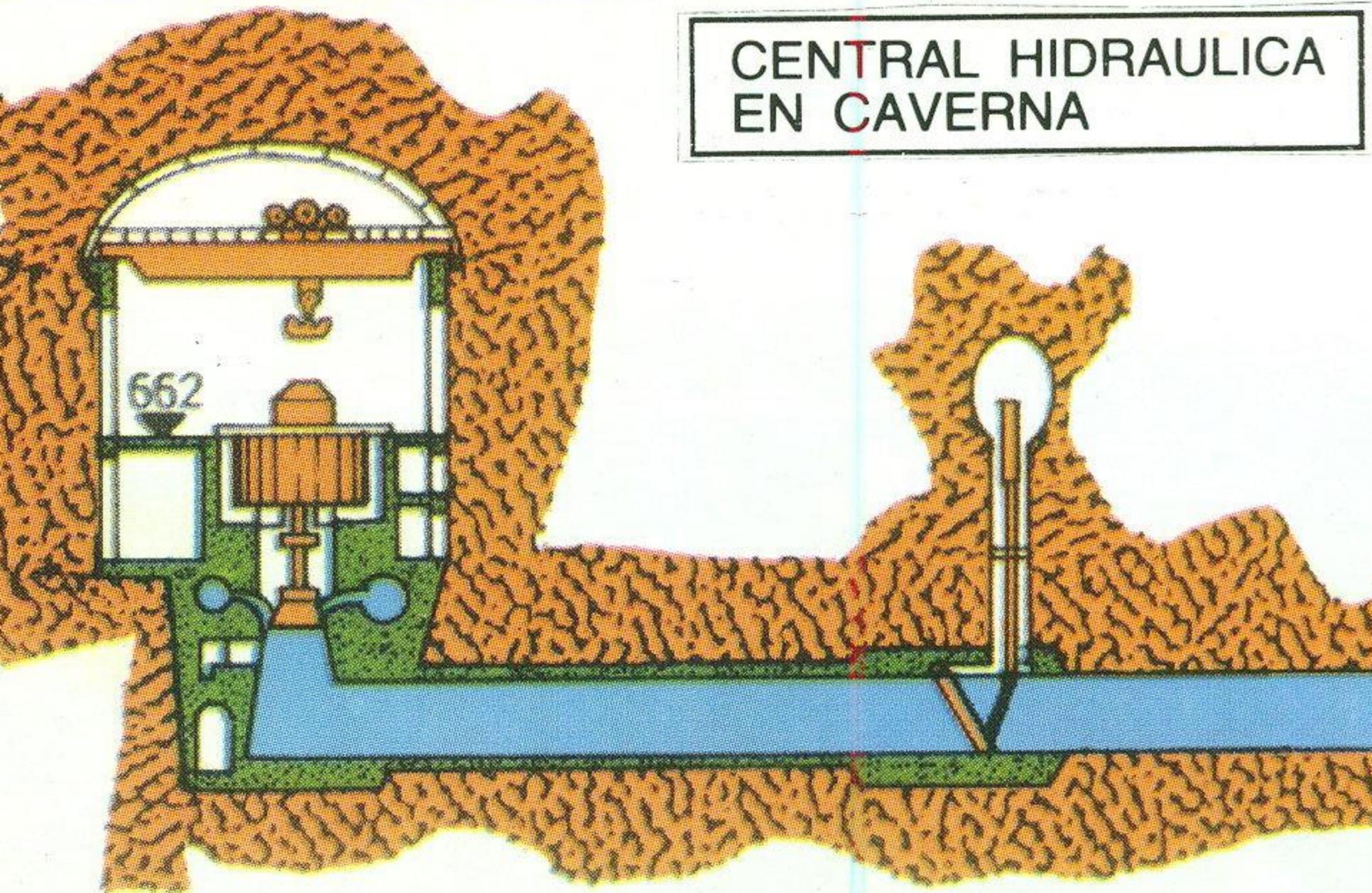
CONDUCCION FORZADA





**NIVEL SUPERIOR DE LA SALA
DE TURBINAS-BOMBAS**

CENTRAL HIDRAULICA EN CAVERNA



Central mareomotriz del RANCE

**Ubicación: Está situada entre las localidades de Dinard y St Malo
- Bretaña, Francia- en el estuario del río Rance.**

Tipo: Central mareomotriz.

El estuario del río Rance está situado en una de las regiones del mundo donde la diferencia entre la marea alta y la marea baja es mayor (13,5 m).



CENTRAL MAREOMOTRIZ DEL RANCE
Francia

Fue inaugurada en 1966 por el General de Gaulle.

Su construcción duró 6 años.

La presa y la central mareomotriz son propiedad del gobierno de Bretaña (Gobierno francés).

El contrato de explotación propiedad de la empresa EDF (*) de manera indefinida, ya que esta también es propiedad del gobierno francés.

Tras más de 40 años de funcionamiento, sigue siendo la única central del mundo en la que se produce electricidad de manera industrial aprovechando la energía de las mareas.

El funcionamiento de la planta facilita la navegación por el estuario, ya que actualmente el nivel medio del agua es más elevado que antes de su construcción.

Ahorra a los conductores 30 km para viajar entre Saint Malo y Dinard.

(*) Electricité de France

El conjunto tiene una longitud total de 750 m.

De Oeste a Este consta de:

Una esclusa de navegación que permite la navegación entre la parte embalsada y la parte de mar de la bahía, de 65 m de largo por 13 metros de ancho.

Una planta mareomotriz de 390 m de largo por 33 m de ancho, con **24 turbinas "tipo bulbo"**, de **10 MW cada una**.

Un dique de entronque de 163 m de largo que completa el cierre del estuario entre la planta y el islote de Chalibert.

Una presa móvil de 115 metros de largo, provista de 6 válvulas de tipo "wagon", capaces de funcionar a una diferencia de altura de la columna de agua de 10 metros. Cada válvula tiene un ancho de 15 metros.

Una carretera de doble sentido que une Dinard con St-Malo, por la cual pasan de 26.000 coches diarios (en verano llegan a 60.000).

La energía generada a lo largo del año mediante el aprovechamiento de las mareas, permite abastecer a unos 223.000 habitantes (equivalente a una ciudad como Rennes).

La marea llena y vacía el estuario dos veces al día con un flujo máximo de 18.000 m³/seg.

Mediante el **doble efecto** (flujo y refluo) se consigue alargar el tiempo de producción permitiendo accionar las turbinas durante las fases de llenado y de vaciado de la presa.

El sistema informático garantiza el monitoreo del conjunto de turbinas de manera automática, fijando el funcionamiento de los grupos y válvulas a partir de un programa que se elabora semanalmente con la previsión de las mareas.

Hay una zona prohibida a la navegación, delimitada sobre 300 metros (aguas arriba y abajo), mediante cables reflectantes fijados en boyas.

La planta está provista de cámaras que permiten a los escluseros vigilar durante las 24 horas del día todo el perímetro de la planta.

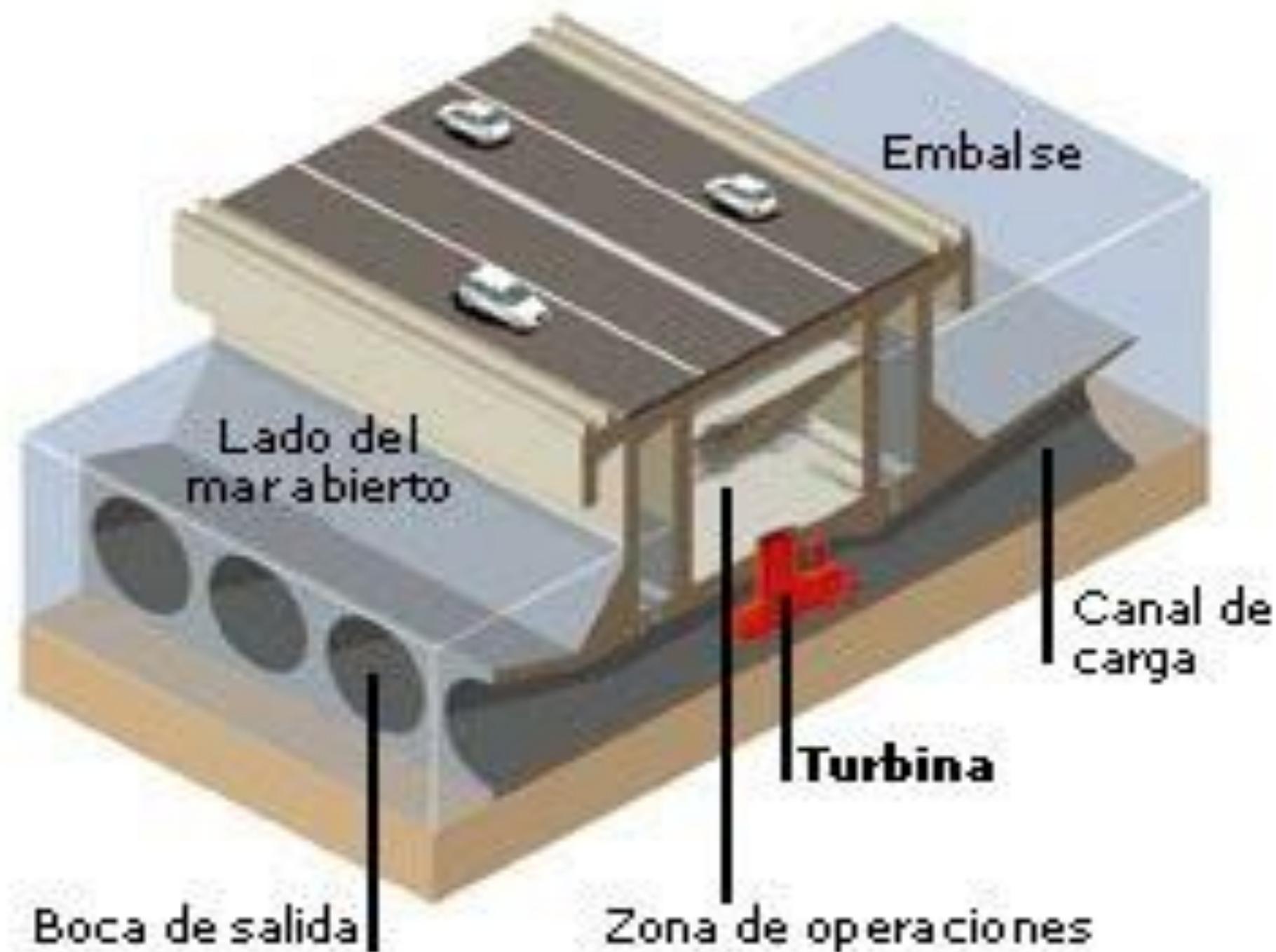
También existe un enlace VHF que permite a los navegantes dialogar con el esclusero.



VISTAS AÉREAS DE LA PRESA







7

**CUENCAS HÍDRICAS
DEL
TERRITORIO ARGENTINO**

CUENCA HIDROGRÁFICA

Unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado.

Las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones.

La divisoria de aguas es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja.

En el interior de las cuencas se pueden delimitar *subcuencas* o *cuencas de orden inferior*. Las divisorias que delimitan las subcuencas se denominan divisorias secundarias.

CUENCA HIDROLÓGICA

La definición de cuenca hidrológica es más integral que la de cuenca hidrográfica.

Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas integrales y además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo.

- 01-09 Parte extranjera de cuencas internacionales.
- 10 Cuenca propia del Río Paraná hasta Confluencia.
- 11 Parte argentina de la cuenca del Río Iguazú.
- 12 Cuencas de arroyos en Misiones sobre el Río Paraná hasta Posadas.
- 13 Cuenca propia del Río Paraguay en territorio argentino.
- 14 Parte argentina de la cuenca del Río Pilcomayo.
- 15 Zona sin ríos ni arroyos de importancia en Salta y Formosa.
- 16 Zona de bañados en Chaco Formosa afluentes del Río Paraguay.
- 17 Cuenca propia del Paraná medio.
- 18 Cuenca del Bermejo superior.
- 19 Cuenca del Río San Francisco.
- 20 Cuenca del Bermejo medio e inferior.
- 21 Zona sin ríos ni arroyos de importancia entre el Bermejo y el Salado.
- 22 Zona de bañados del Chaco y norte de Santa Fe.
- 23 Cuenca del Río Santa Lucía.
- 24 Cuenca del Río Corrientes.
- 25 Cuenca del Río Guayquirarú.

- 26 Cuenca del Río Feliciano.
- 27 Cuenca del arroyo Saladillo y arroyos menores afluentes del San Javier.
- 28 Alta cuenca del Río Juramento.
- 29 Cuenca del Río Pasaje o Salado.
- 30 Cuenca del arroyo Colastiné, de Corralito y otros.
- 31 Cuenca del Río Carcarañá.
- 32 Cuencas de arroyos del SO de Entre Ríos.
- 33 Cuencas de arroyos del SE de Santa Fe y N de Buenos Aires.
- 34 Cuenca del Río Gualeguay.
- 35 Cuenca del Río Arrecifes.
- 36 Cuencas de arroyos del NE de la Provincia de Buenos Aires.
- 37 Delta del Paraná.
- 38 Cuenca propia del Río Pepirí-Guazú en la Argentina.
- 39 Cuenca propia del Río Uruguay en la Argentina.
- 40 Cuencas de arroyos de Misiones afluentes del Río Uruguay.
- 41 Cuencas de arroyos menores de Corrientes afluentes del Río Uruguay.
- 42 Cuenca del Río Aguapey.
- 43 Cuenca del Río Miriñay

- 44 Cuenca del Río Mocoretá.
- 45 Cuencas de arroyos menores de Entre Ríos afluentes del Río Uruguay.
- 46 Cuenca del Río Gualeguaychú.
- 47 Cuenca de desagüe del Río de la Plata hasta el Río Samborombón.
- 48 Cuenca del Río Salado de Buenos Aires.
- 49 Zona de canales al S del Río Salado de Buenos Aires.
- 50 Cuencas de arroyos del SE de la Provincia de Buenos Aires.
- 51 Cuencas de arroyos del S de la Provincia de Buenos Aires.
- 52 Cuenca del Río Vinchina-Bermejo.
- 53 Cuenca del Río Jáchal.
- 54 Cuenca del Río San Juan.
- 55 Cuenca del Río Mendoza.
- 56 Cuenca del Río Desaguadero y áreas vecinas sin drenaje definido.
- 57 Cuenca del Río Tunuyán
- 58 Cuenca del Río Diamante.
- 59 Cuenca del Río Atuel.
- 60 Cuenca del Río Colorado.

- 61 Ríos y arroyos menores con Vertiente Atlántica entre el Colorado y el Chubut.
- 62 Cuenca del Río Neuquén.
- 63 Cuenca del Río Limay.
- 64 Cuenca del Río Negro.
- 65 Cuenca del Río Chubut.
- 66 Cuencas de los ríos Senguerer y Chico.
- 67 Zonas de ríos y arroyos menores con Vertiente Atlántica al S de Chubut.
- 68 Cuenca del Río Deseado.
- 69 Cuenca del Río Chico.
- 70 Cuenca del Río Santa Cruz.
- 71 Cuenca del Río Coyle o Coig.
- 72 Cuencas de los ríos Gallegos y Chico.
- 73 Cuencas varias de Tierra del Fuego.
- 74 Cuenca del Río Hua Hum.
- 75 Cuencas de los ríos Manso y Puelo.
- 76 Cuenca del Río Futaleufú.
- 77 Cuenca de los ríos Carrenteufú y Pico.

- 78 Cuenca del Río Simpson.
- 79 Cuencas de los lagos Buenos Aires-Pueyrredón.
- 80 Cuenca del Río Mayer y Lago San Martín.
- 81 Cuenca del Río Vizcachas.
- 82 Cuenca del Lago Fagnano.
- 83 Cuencas varias de la Puna.
- 84 Cuenca del Río Itiyuro o Carapari.
- 85 Cuencas de los ríos Rosario u Horcones y Urueña.
- 86 Cuenca del Río Salí-Dulce.
- 87 Cuenca del Río Abaucán-Salado.
- 88 Cuencas del Coniará y de arroyos menores del NO de San Luis y O de Córdoba.
- 89 Cuencas varias del Velazco.
- 90 Cuencas de la falda oriental del Ambato.
- 91 Cuencas varias de las Salinas Grandes.
- 92 Cuencas varias de los llanos de la Rioja y del E de San Juan.
- 93 Cuencas de arroyos del NO de la Provincia de Córdoba.

- 94 Cuencas de los ríos Primero y Segundo.
- 95 Cuenca del Río Quinto y arroyos menores de San Luis,
- 96 Región sin drenaje superficial de San Luis, Córdoba, La Pampa y Buenos Aires.
- 97 Cuenca de la laguna Llanquanelo.
- 98 Región lagunera del SO de la Provincia de Buenos Aires.
- 99 Cuencas de ríos y arroyos de la meseta patagónica.
- 00 Antártida e Islas del Atlántico Sur.

8

**POTENCIAL HIDROENERGÉTICO
DE LA
REPÚBLICA ARGENTINA**



Cuencas de la vertiente atlántica
 Cuenca del Plata

Cuencas de la vertiente pacífica
 Cuencas endorreicas
 Zonas arreas



GRANDES CUENCAS	POTENCIA	CAPACIDAD DE GENERACION ANUAL
	MW	GWh/año
1. Cuenca del Plata	16.561,93	97.539,38
2. Cuenca Mediterránea	517,46	1.481,38
3. (Cuenca del Río Colorado Región Cuyana)	4.102,20	13.536,90
4. Cuenca Pampeana	12,00	87,00
5. Cuenca Patagónica (Vertiente Pacífico)	874,00	4.508,00
6. Cuenca Patagónica (Vertiente Atlántica)	9.467,64	31.895,10
<hr/> TOTAL	31.535,22	149.048,03
Potencial Energético Mareomotriz		15.000,00

1kW = 10³ W ; 1MW = 10⁶ W = 10³ kW ; 1 GW = 10⁹ W = 10⁶ kW = 10³ MW

INVENTARIO DE RECURSOS ENERGÉTICOS MAREOMOTRICES DE LA PATAGONIA ARGENTINA

• Bahía San José	8.900,00 GW/año
• Bahía Santa Cruz	3.700,00 GW/año
• Río Gallegos	1.900,00 GW/año
• Bahía San Julián	423,00 GW/año
• Río Deseado	74,00 GW/año

Datos adicionales.

Bahía San Antonio: Mareas que alcanzan una amplitud de 10,27 m

Caleta Brighman: Mareas de pequeña amplitud (2 a 3 m), pero su superficie es de 45 km² y produciría un movimiento de agua de 174.425.000 m³/día.

9

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO
MUNDIAL**

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO MUNDIAL

En el lapso de un año:

El Sol evapora de los océanos alrededor de 400.000 km³ de agua.

De esta cantidad retornan directamente a los mares en forma de lluvia alrededor de 300.000 400.000 km³ de agua.

Caen como lluvia o nieve sobre la tierra firme 100.000 km³ de agua.

De esta última cantidad se pierden por evaporación unos 63.000 km³ de agua, quedando entonces unos 37.000 km³ de agua que fluyen por los ríos al mar.

La elevación media de los continentes sobre el nivel del mar es de 800 m.

La potencia de una corriente fluida que fluye por efecto de la gravedad es:

$$N = \gamma Q H$$

Donde γ = Peso específico del fluido (para el agua es $\gamma \approx 1.000 \text{ kg}_f / \text{m}^3$)

Q = Caudal volumétrico ($37 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{año}$)

H = Desnivel topográfico (800 m)

La energía de esta corriente en un año es:

$$E = \text{Potencia } N \text{ (Watt)} \times \text{tiempo } t \text{ (horas/año)}$$

Sustituyendo los valores anteriores resulta:

$$E = 296 \times 10^{17} \text{ kg}_f \text{ m/año} = 805,12 \times 10^{11} \text{ kWh/año} = 80,5 \text{ GWh/año}$$

Esta energía no puede ser aprovechada en su totalidad por diversas razones, siendo las principales:

Las condiciones no siempre son adecuadas para el aprovechamiento hidroenergético.

Los caudales de los ríos tienen grandes variaciones en las estaciones del año.

La eficiencia de la conversión de energía hidráulica en energía eléctrica varía entre 80 a 90%, según la instalación.

Como consecuencia de estos factores, sólo se puede aprovechar:

El 6% de la energía total del agua que fluye durante el 95% del año.

El 16% de la energía total del agua que fluye en las condiciones medias.

De acuerdo a lo precedente se deduce que la utilización anual máxima en el mundo sería del orden de:

$0,06 \times 80,5 \times 10^6 \text{ GWh/año} \approx 4,83 \times 10^6 \text{ GWh/año}$ (condición 95%)

$0,16 \times 80,5 \times 10^6 \text{ GWh/año} \approx 12,88 \times 10^6 \text{ GWh/año}$ (condición promedio)

CONCLUSIONES

Potencial hidroeléctrico de América Latina (c. prom.) $\approx 1,85 \times 10^6 \text{ GWh/año}$
= 14,36 % del mundial

Potencial hidroeléctrico de Argentina (c. prom) $\approx 149.048,83 \text{ GWh/año} =$
= 1,1572% del mundial

NOTA

De los 50 ríos más importantes del mundo, 49 desembocan en los océanos, a excepción del Volga que descarga sus aguas en el mar Caspio.

Estos ríos transportan el 50% del agua que fluye en el mundo en forma superficial.

El río de mayor caudal es el Amazonas y el que le sigue es el Congo o Zaire, cuyo caudal es $\frac{1}{5}$ del correspondiente al Amazonas. A pesar de ello, por sus características topográficas, el potencial hidroeléctrico del río Congo es mayor que el del Amazonas.

De los 15 ríos más caudalosos, 9 están en Asia, 3 en Sudamérica, 2 en Norteamérica y 1 en África.

APÉNDICE

PREFIJOS DEL SISTEMA MÉTRICO LEGAL ARGENTINO (SIMELA)

(Creado por Ley 19.511 – Decreto Reglamentario 878/89)

Prefijo	Factor de Multiplicación	Símbolo
exa	10^{18}	E
peta	10^{15}	P
tera	10^{12}	T
giga	10^9	G
mega	10^6	M
kilo	10^3	k
hecto	10^2	h
deca	10^1	da
deci	10^{-1}	d
centi	10^{-2}	c
mili	10^{-3}	m
micro	10^{-6}	μ
nano	10^{-9}	n
pico	10^{-12}	p
femto	10^{-15}	f
atto	10^{-18}	a