

# Trabajo de Seminario: Turbinas Francis

## Aprovechamientos Hidráulicos - 2025

- Albarracín, Belisario
- Cordero, Tomás
- Videla, Guadalupe



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# 1

# INTRODUCCIÓN

**Aprovechamientos Hidráulicos - 2025**



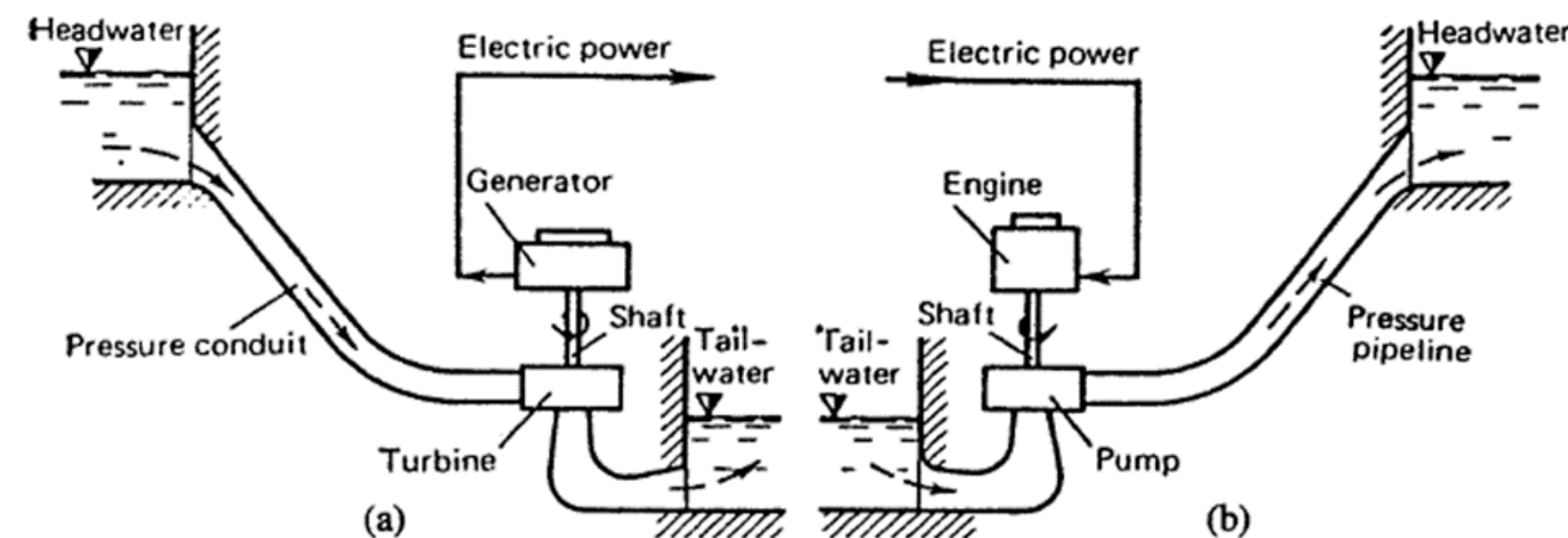
**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# INTRODUCCIÓN

- Las **turbomáquinas** son máquinas rotativas que permiten una transferencia energética entre un fluido y un rotor provisto de alabes o paletas, mientras el fluido pasa a través de ellos.
- Si la transferencia de energía se efectúa de máquina a fluido se le da el nombre genérico de bomba; si por el contrario el fluido cede energía al rotor se llama turbina. Entre las turbinas figuran las hidráulicas, de vapor, de gas, de aire, etcétera, también para cualquier clase de fluido.



2

# RESEÑA HISTÓRICA

Aprovechamientos Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA



# RESEÑA HISTÓRICA

- B. Fourneyron (1827): Diseño de primera turbina hidráulica práctica con una eficiencia de  $\eta \cong 80\%$
- S. B. Howd (1838): Obtiene una patente en EE. UU. para un diseño similar
- J. B. Francis (1848): Mejora los diseños de Howd y desarrolla una turbina de reacción de flujo mixto de alta eficiencia  $\eta \cong 90\%$
- Hoy en día las turbinas alcanzan eficiencias del  $\eta \cong 96\%$

# 3

# PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

**Aprovechamientos Hidráulicos - 2025**



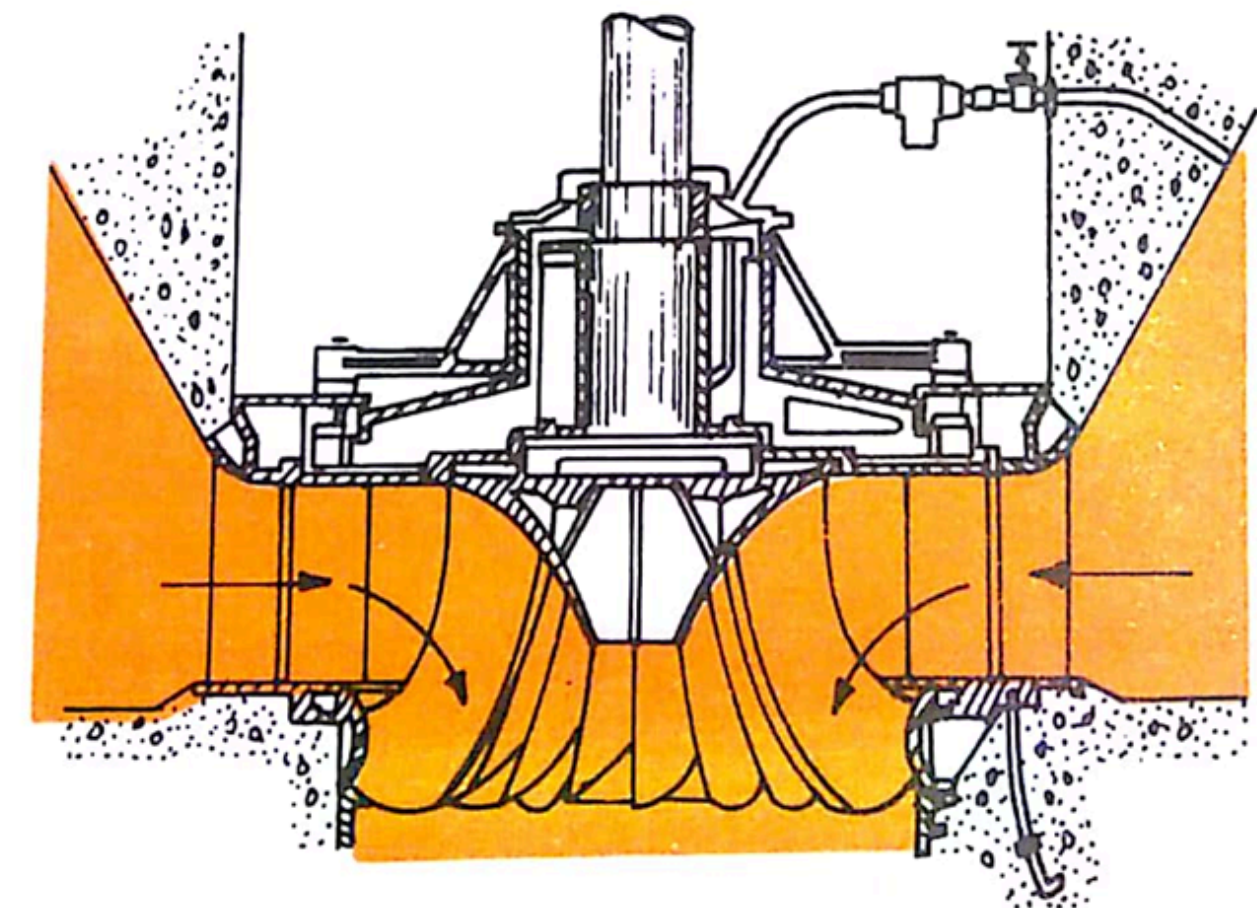
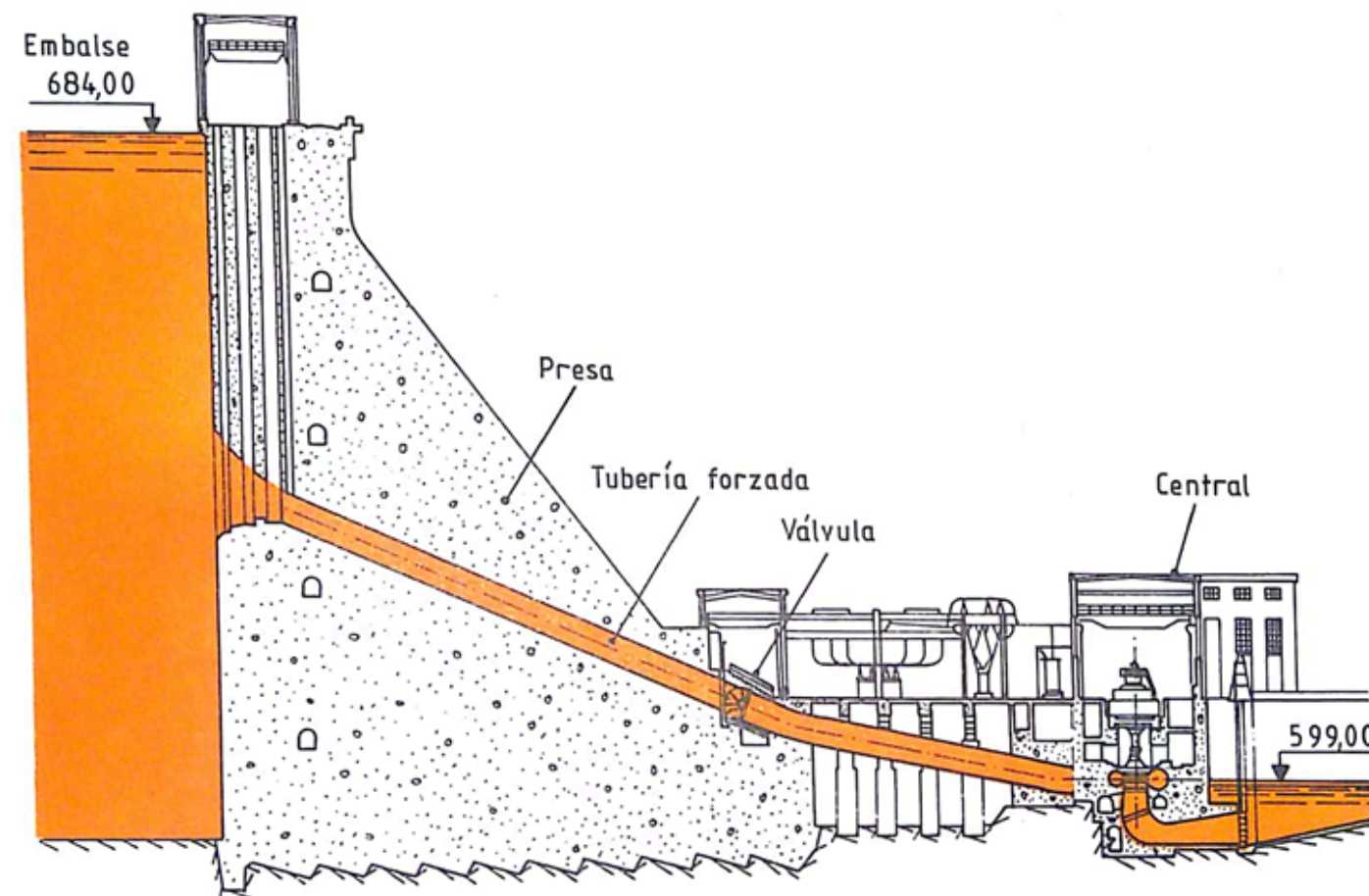
**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La energía potencial gravitatoria del agua embalsada se convierte en energía cinética en su recorrido hacia el distribuidor, donde, a la salida de éste, se dispone de energía en forma cinética y de presión. Presión mayor a la atmosférica



# 4

# ÁMBITO DE APLICACIÓN

**Aprovechamientos Hidráulicos - 2025**



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

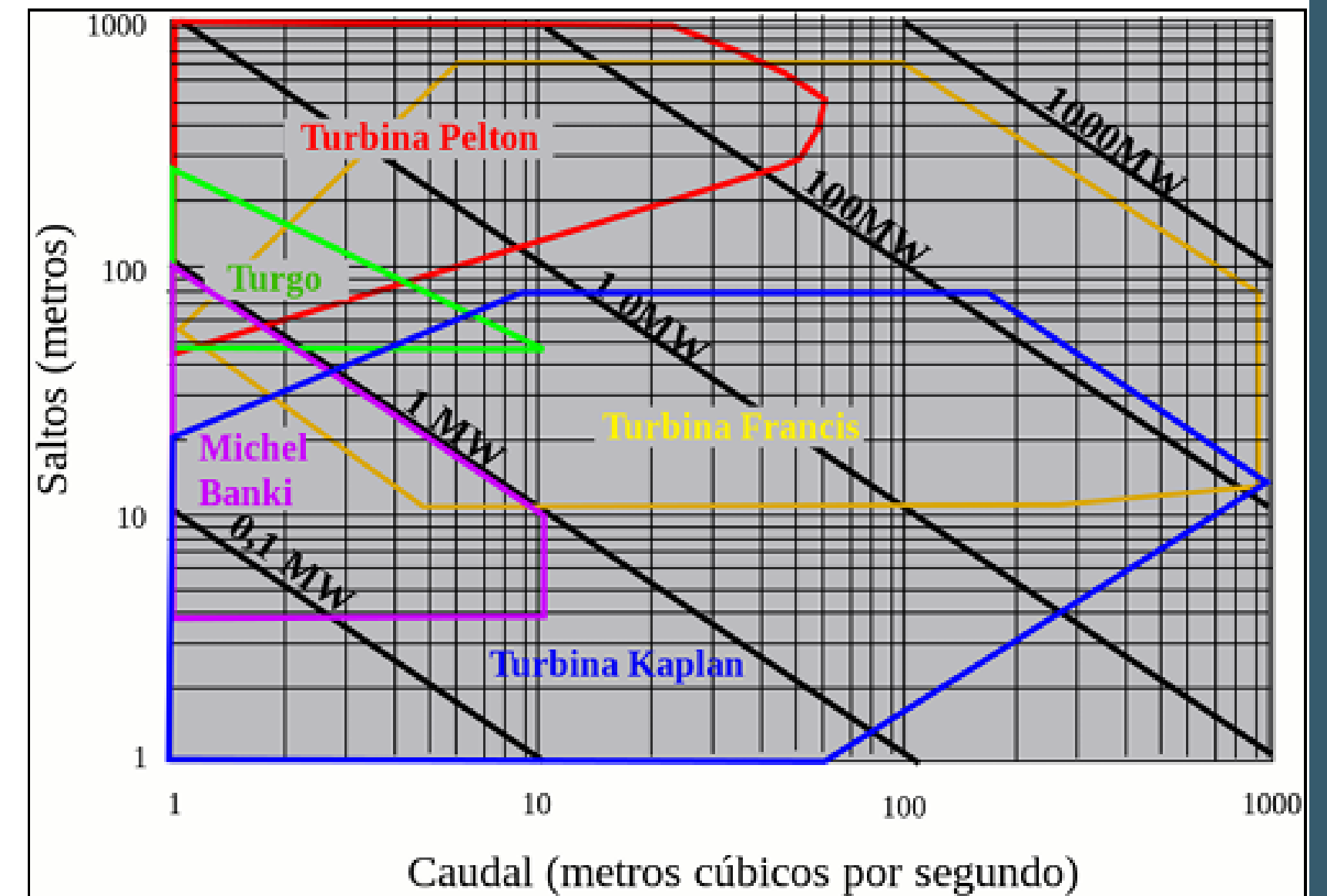


**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# ÁMBITO DE APLICACIÓN

Pueden emplearse en saltos de distintas alturas dentro de una amplia gama de caudales (entre 2 y 200 m<sup>3</sup>/s aproximadamente).

- **Turbina Francis lenta:** saltos de gran altura (>200 m). baja velocidad específica!
- **Turbina Francis normal:** saltos de altura media (20-200 m)
- **Turbinas Francis rápidas y extrarrápidas:** saltos de pequeña altura (<20 m).





# 5

# CLASIFICACIÓN

**Aprovechamientos Hidráulicos - 2025**



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# CLASIFICACIÓN

- Velocidad específica
- Posición de eje
- Forma de actuar de los filetes líquidos sobre los álabes
- Dirección del flujo respecto al eje de rotación



# CLASIFICACIÓN: Velocidad específica

## 5.1

Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA

Es el número de revoluciones por minuto que daría una turbina semejante a la que se desea proyectar (de igual forma pero con dimensiones reducidas) y que entrega una potencia unitaria al ser instalada en un salto unitario.

$$n_s [rpm] = \frac{n \cdot \sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Siendo

n: Revoluciones por minuto [rpm]

P: Potencia del eje [kWh]

H: Salto neto [m]



# CLASIFICACIÓN: Velocidad específica

## 5.1

Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA

Al analizar esta expresión se comprueba que ( $n$ ,  $p = \text{cte}$ ):

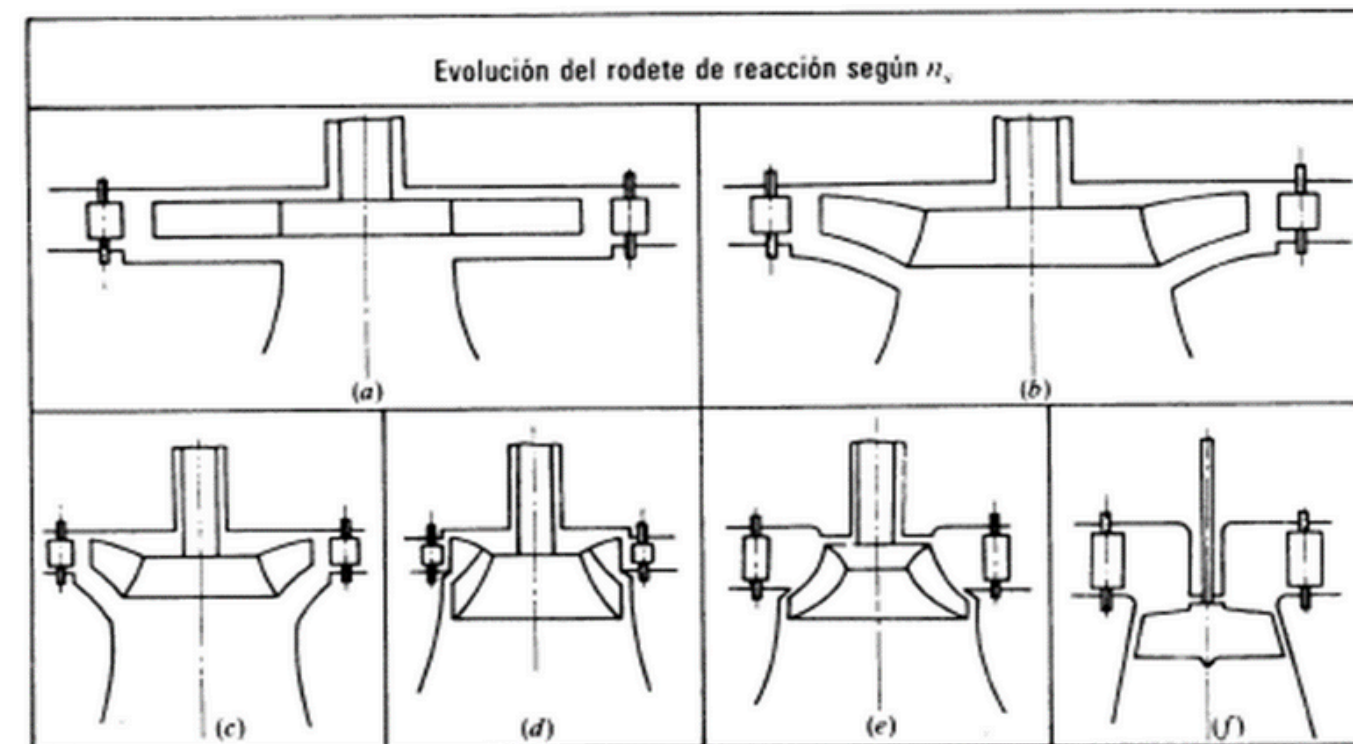
$$H \uparrow \leftrightarrow n_s \downarrow$$

$$H \downarrow \leftrightarrow n_s \uparrow$$

$$n_s = \frac{n \cdot \sqrt{p}}{H^{5/4}}$$

# CLASIFICACIÓN: Velocidad específica

|                            | Francis Lentas     | Francis Normales    | Francis Rápidas    | Extrarrápidas      |
|----------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Salto H                    | $\leq 500\text{m}$ | $\leq 300\text{ m}$ | $\leq 80\text{ m}$ | $\leq 40\text{ m}$ |
| Velocidad específica $n_s$ | $< 100\text{ rpm}$ | 100 rpm - 200 rpm   | 200 rpm - 300 rpm  | 300 rpm - 400 rpm  |



# CLASIFICACIÓN: Posición del eje

## 5.2

**Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025**

Las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal o vertical

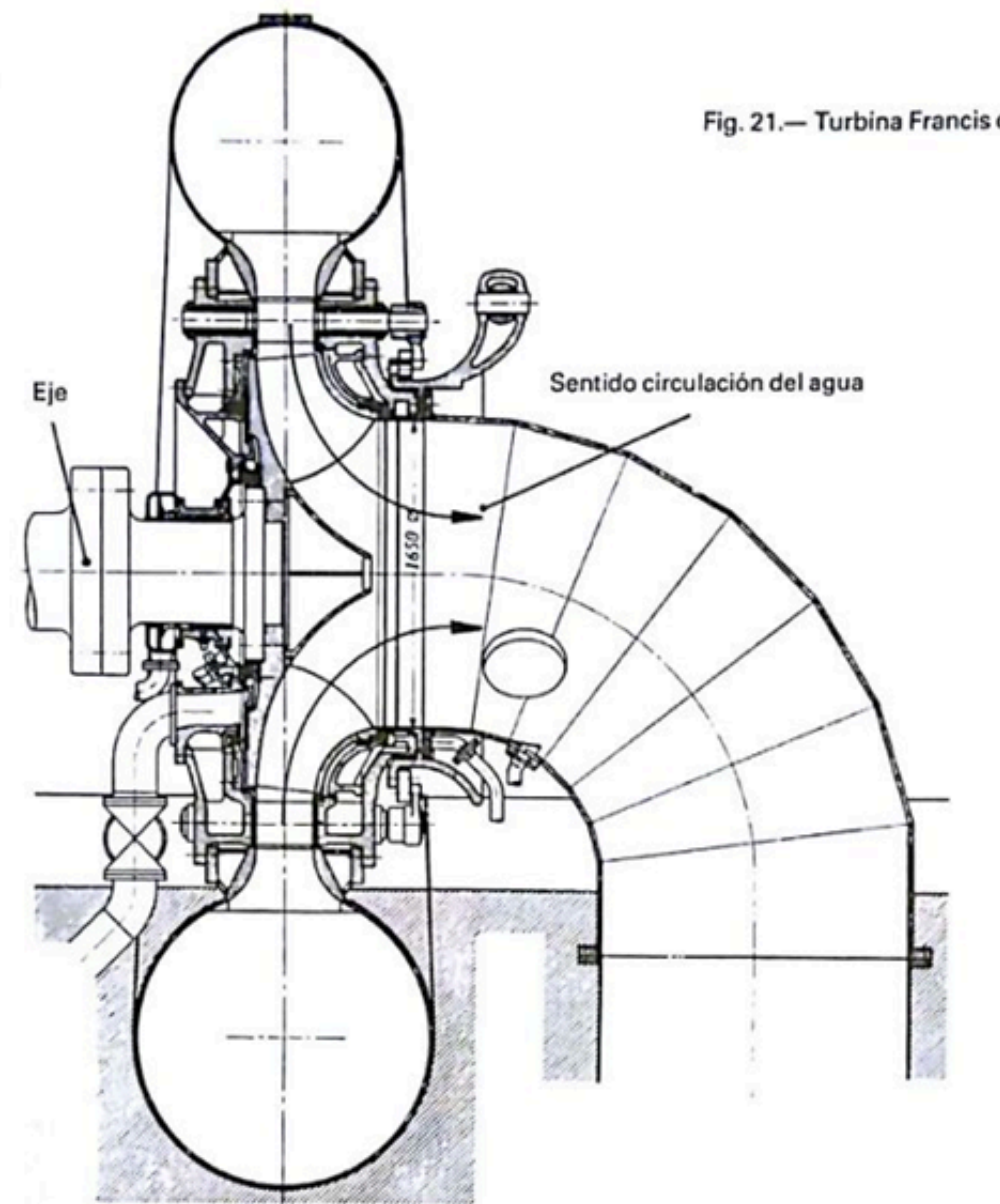


**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

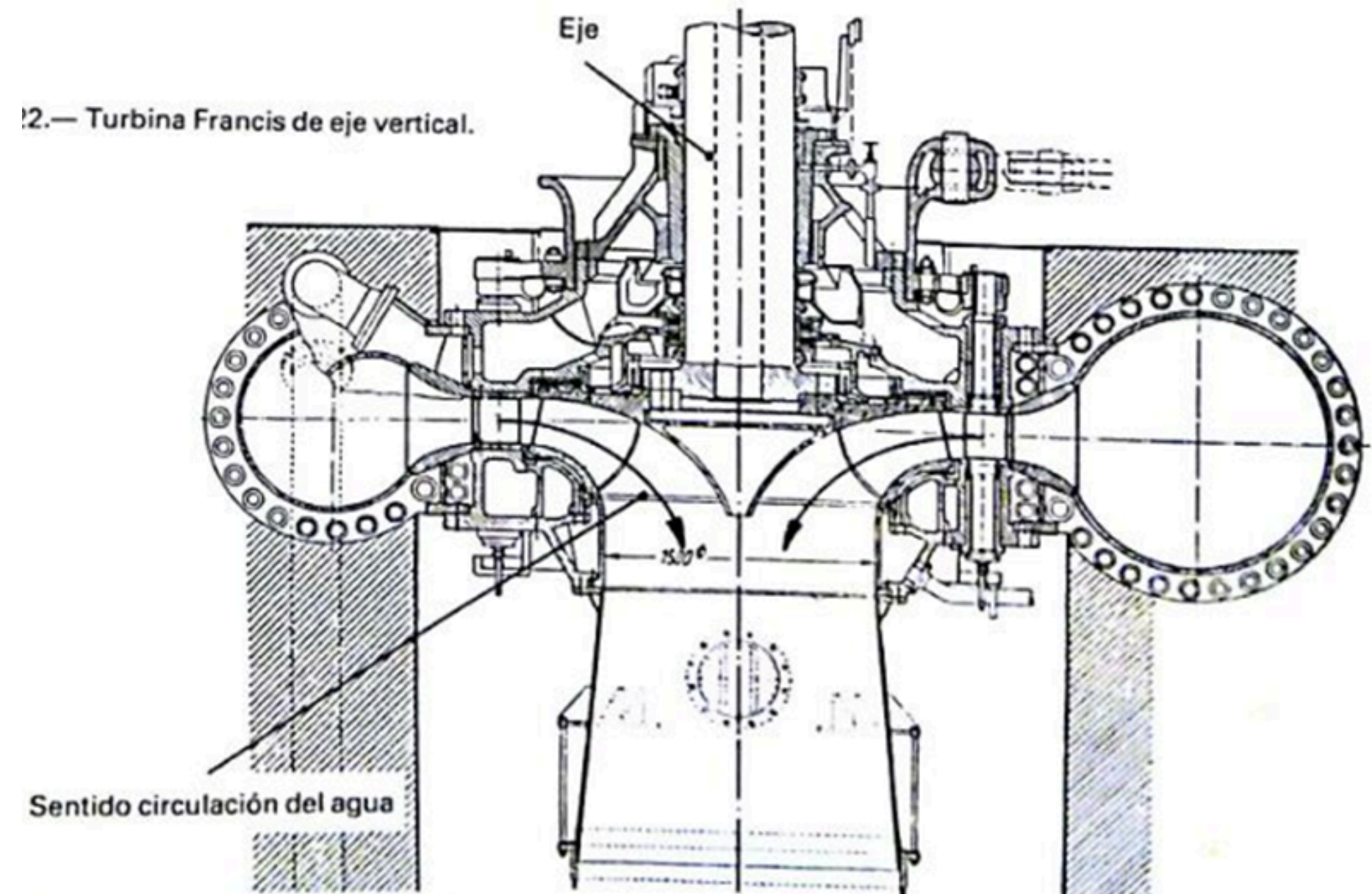


**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# CLASIFICACIÓN: Posición del eje



Horizontal: ejes no muy pesados por la flexión



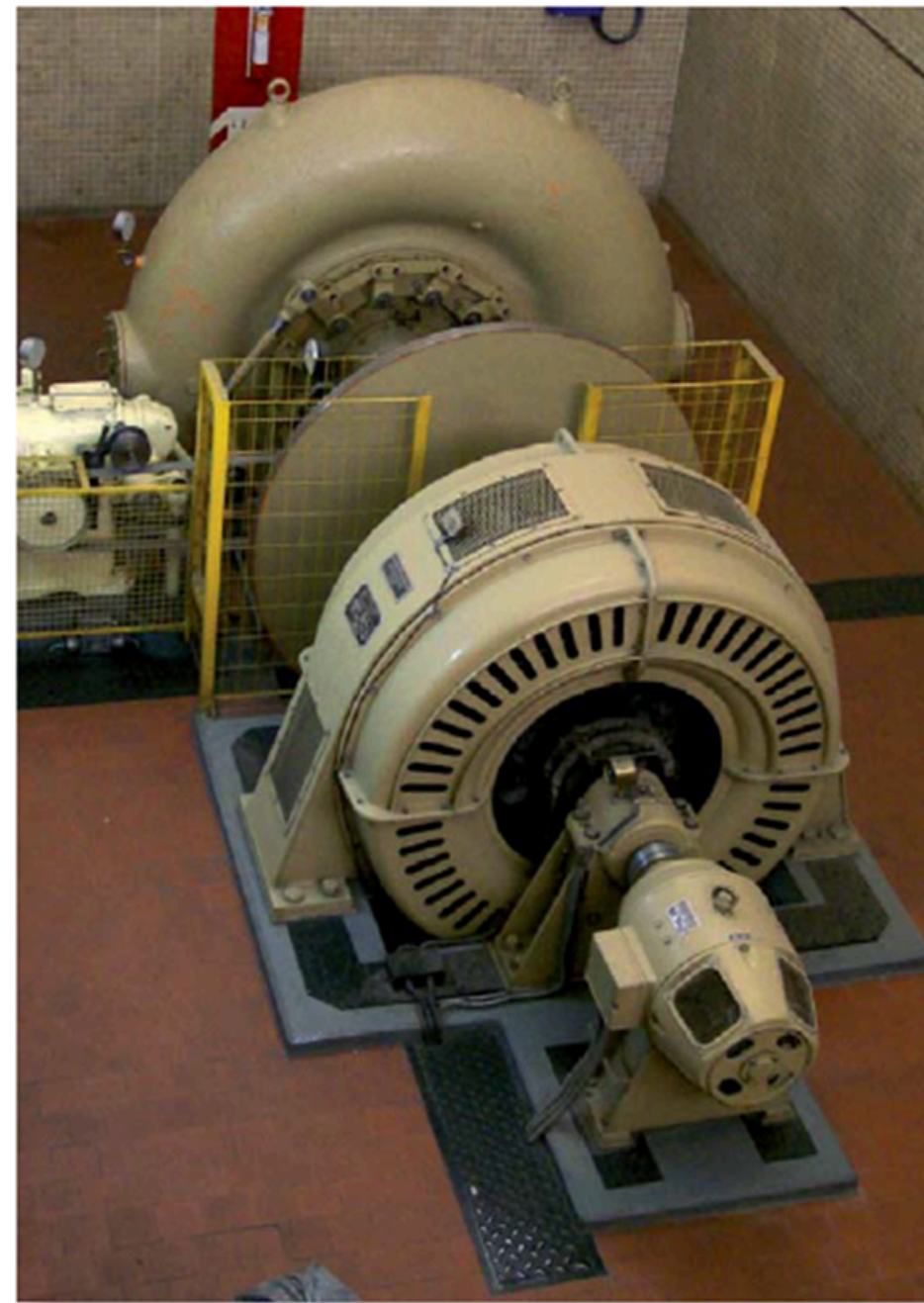
Vertical: mínimo 2 plantas, por la altura + cojinetes



# CLASIFICACIÓN: Posición del eje

- Eje horizontal → Complejo  
Hidroeléctrico FLORENTINO  
AMEGHINO

agregaron algo



# CLASIFICACIÓN: Forma de actuar de los filetes

## 5.3

**Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025**

Para operar eficientemente en un campo tan amplio se han diseñado diversos tipos de turbinas que pueden clasificarse en dos grupos principales



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# CLASIFICACIÓN: Forma de actuar de los filetes

- **Turbinas de acción**, en las que el caudal de agua se utiliza en forma de chorro a la presión atmosférica, para lo que previamente se ha de transformar toda la energía potencial del agua en energía cinética → Pelton
- **Turbinas de reacción**, en las que el agua se utiliza a una presión superior a la atmosférica, por lo que solo una parte de su energía es cinética → Francis y Kaplan.



# CLASIFICACIÓN: Forma de actuar de los filetes

Las **turbinas de reacción** se pueden clasificar en tres tipos principales en función de la forma del rodete y de la trayectoria de las partículas de agua:

- Turbinas Francis (TF): el agua llega al rodete desde su periferia y sale axialmente por lo que las partículas describen trayectorias helicoidales inscritas en superficies cónicas.
- Turbinas Kaplan (TK): en las que el agua llega al rodete y se descarga axialmente siguiendo trayectorias con la forma de hélices cilíndricas.
- Turbinas Deriaz (TD): tipo intermedio entre las TF y las TK en las que el rodete, a semejanza de las últimas, tiene palas orientables, aunque el flujo no es axial como en las TK, sino diagonal, por lo que también se llaman turbinas de flujo diagonal.

# **CLASIFICACIÓN: Dirección de flujo respecto al eje**

## **5.4**

**Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025**



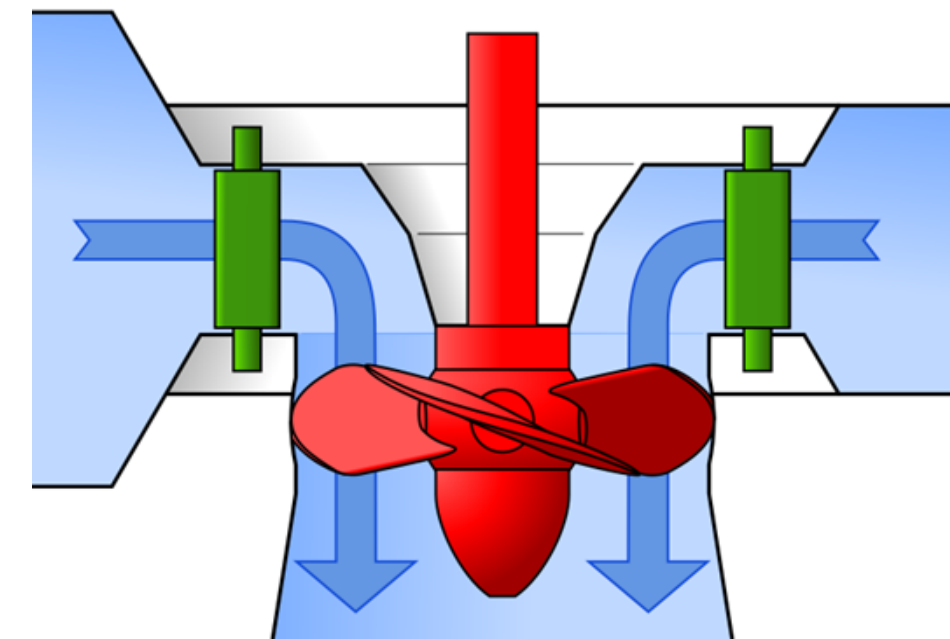
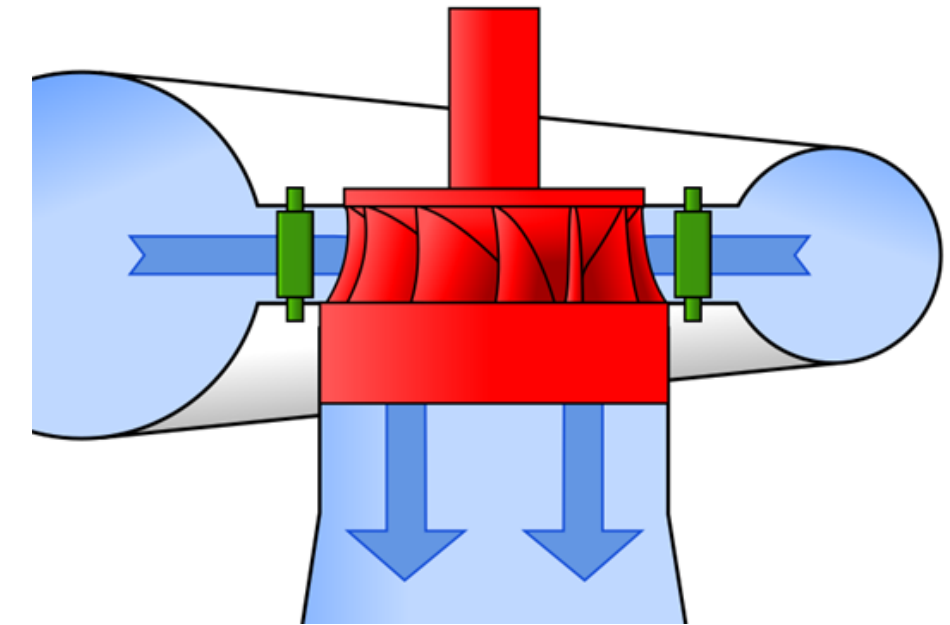
**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# CLASIFICACIÓN: Forma de actuar de los filetes

- Cuando el paso del agua por el rotor se efectúa en **dirección radial**, las máquinas se llaman radiales, de las cuales, el tipo más representativo es la turbina Francis.
- Cuando el paso por entre los álabes se hace en la **dirección del eje de la máquina**, se dice que ésta es de tipo axial, de las que son ejemplo la turbina Kaplan y la turbina Peltonr.

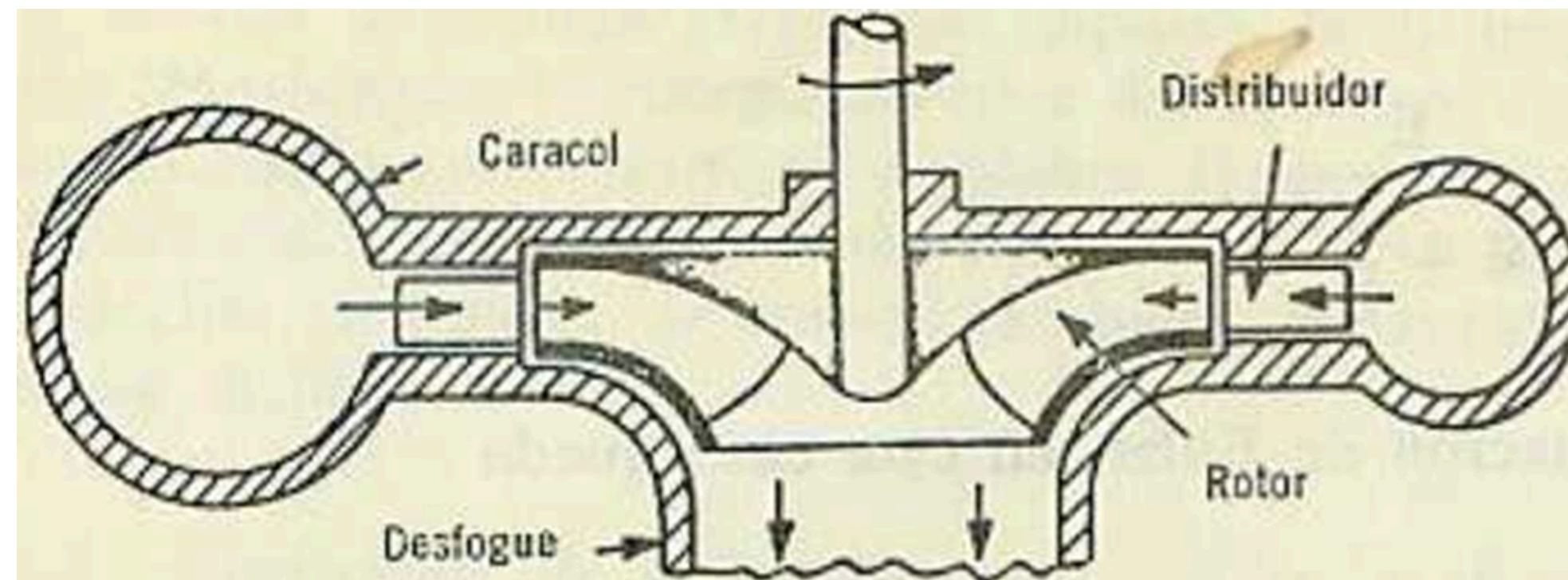


# CLASIFICACIÓN: Forma de actuar de los filetes

De acuerdo con la ponderación de la carga sobre el caudal o viceversa, se originan unas particulares características en la máquina, que dan lugar a dos tipos, no siempre completamente definidos: la **Francis pura** y la **Francis mixta**.

# CLASIFICACIÓN: Forma de actuar de los filetes

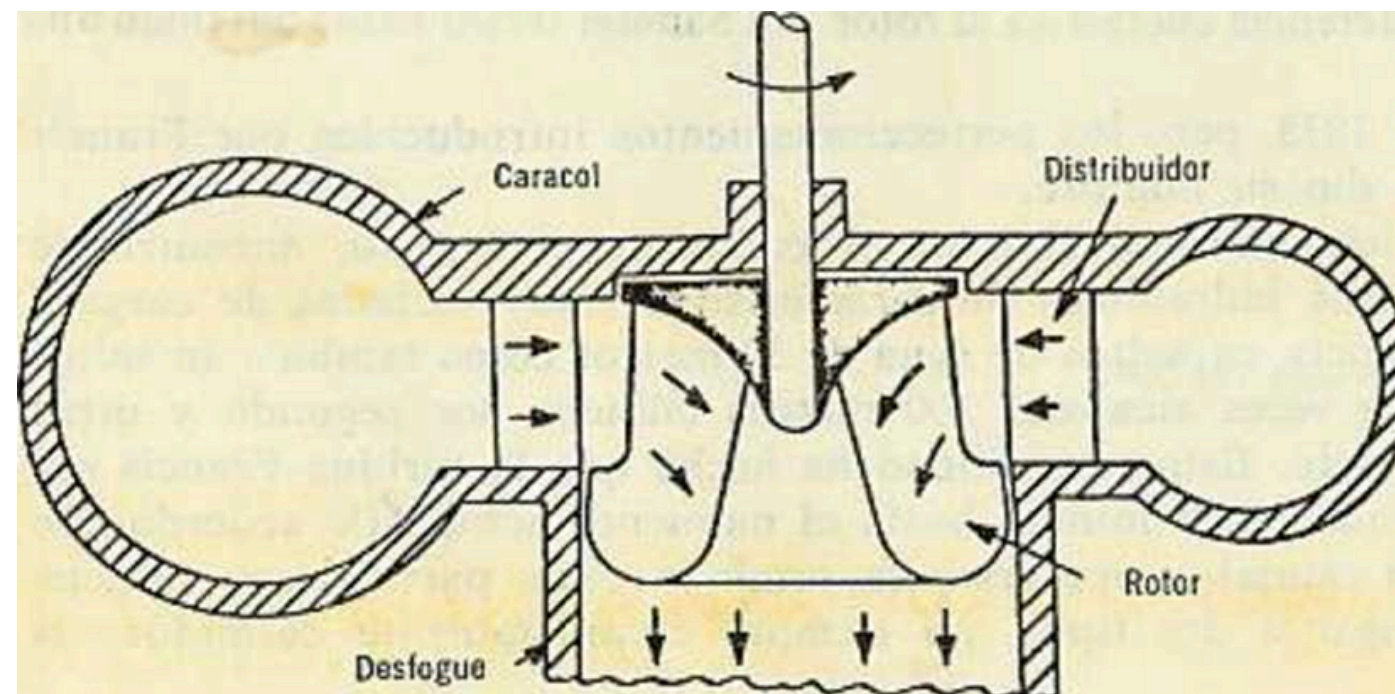
●**Francis Pura:** El agua pasa a través de los alabes, todo el tiempo, en dirección radial y de afuera hacia dentro, con un aprovechamiento máximo de la acción centrípeta, para lo cual se procura siempre dar al agua un recorrido radial relativamente largo. Se justifica este tipo de Francis pura en los saltos de agua con cargas relativamente grandes y caudales relativamente reducidos.





# CLASIFICACIÓN: Forma de actuar de los filetes

● **Francis mixta:** El agua recorre los alabes en dirección radial y de afuera hacia dentro sólo en una parte de los mismos (la superior), terminando el agua su recorrido por entre los alabes en dirección axial (vertical hacia abajo en las máquinas de eje vertical), en cuya fase final trabaja como turbina axial. Tiene aplicación en saltos de agua de cargas medianas y bajas, con caudales medianos y relativamente grandes.





# 6

# COMPONENTES

**Aprovechamientos Hidráulicos - 2025**

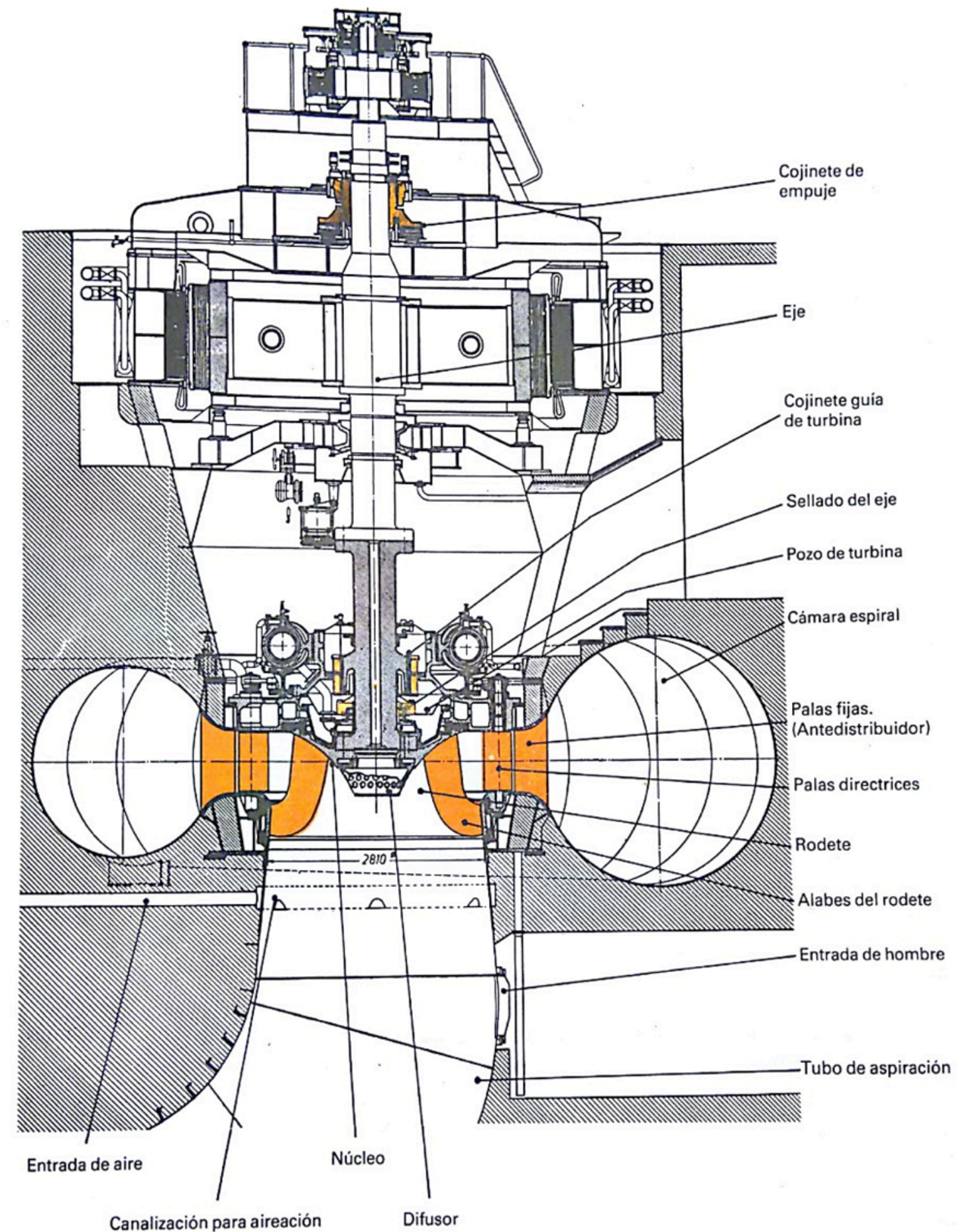


**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# Componentes





# COMPONENTES: Cámara espiral

## 6.1

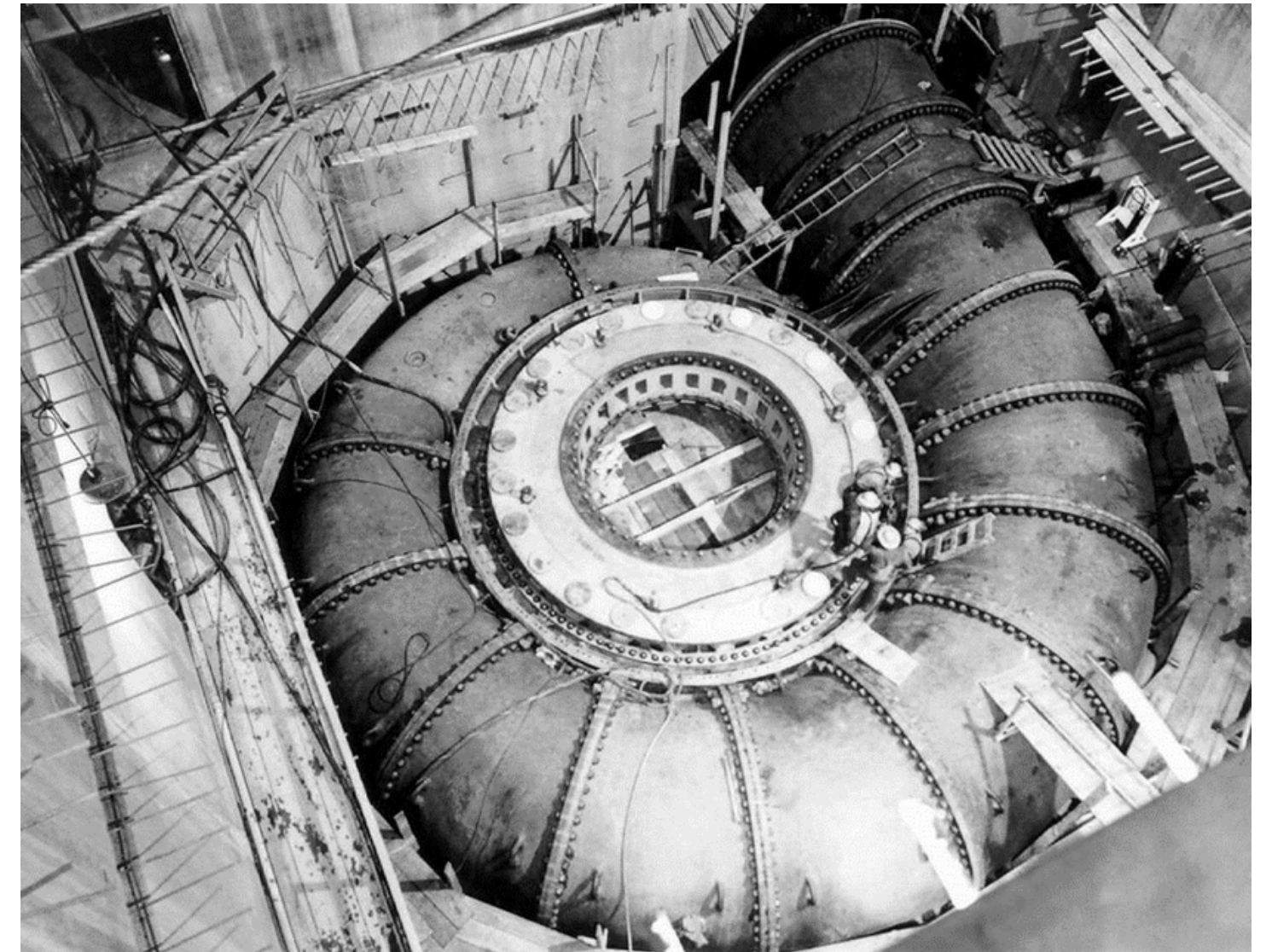
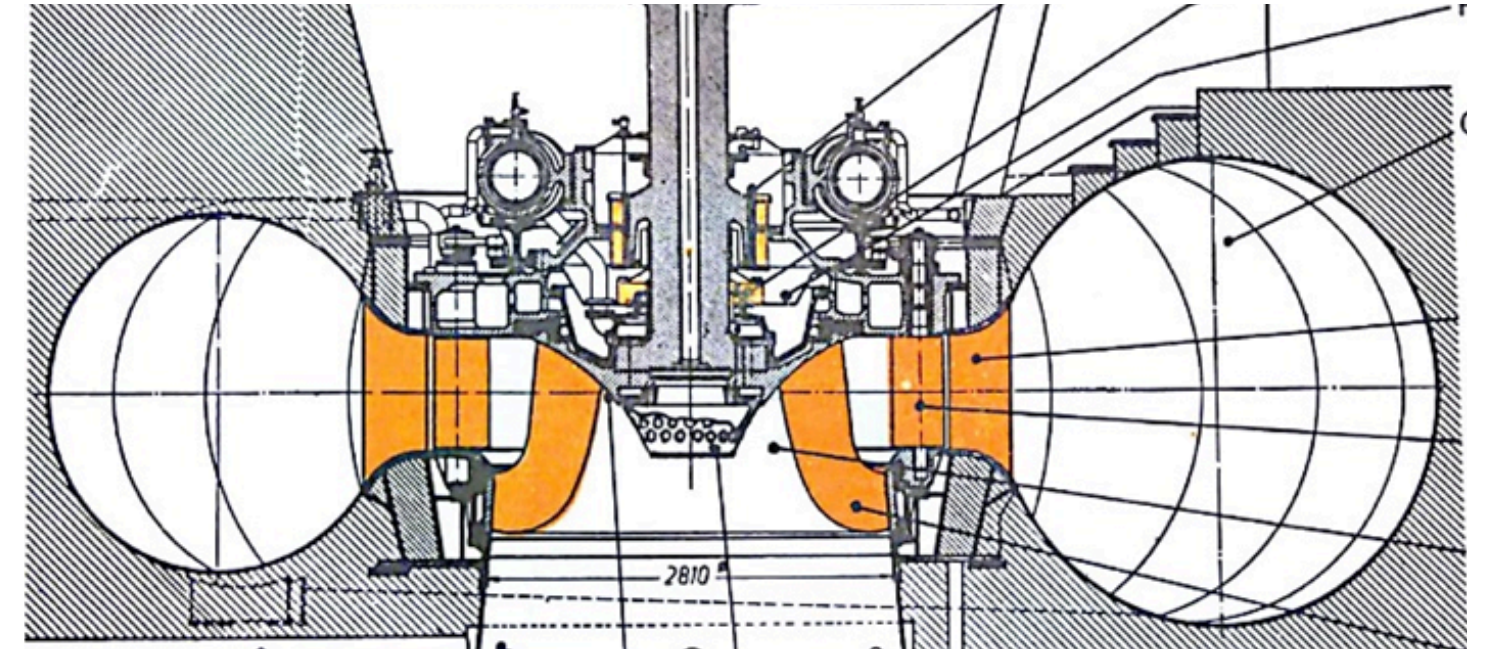
Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA





# COMPONENTES: Predistribuidor

## 6.2

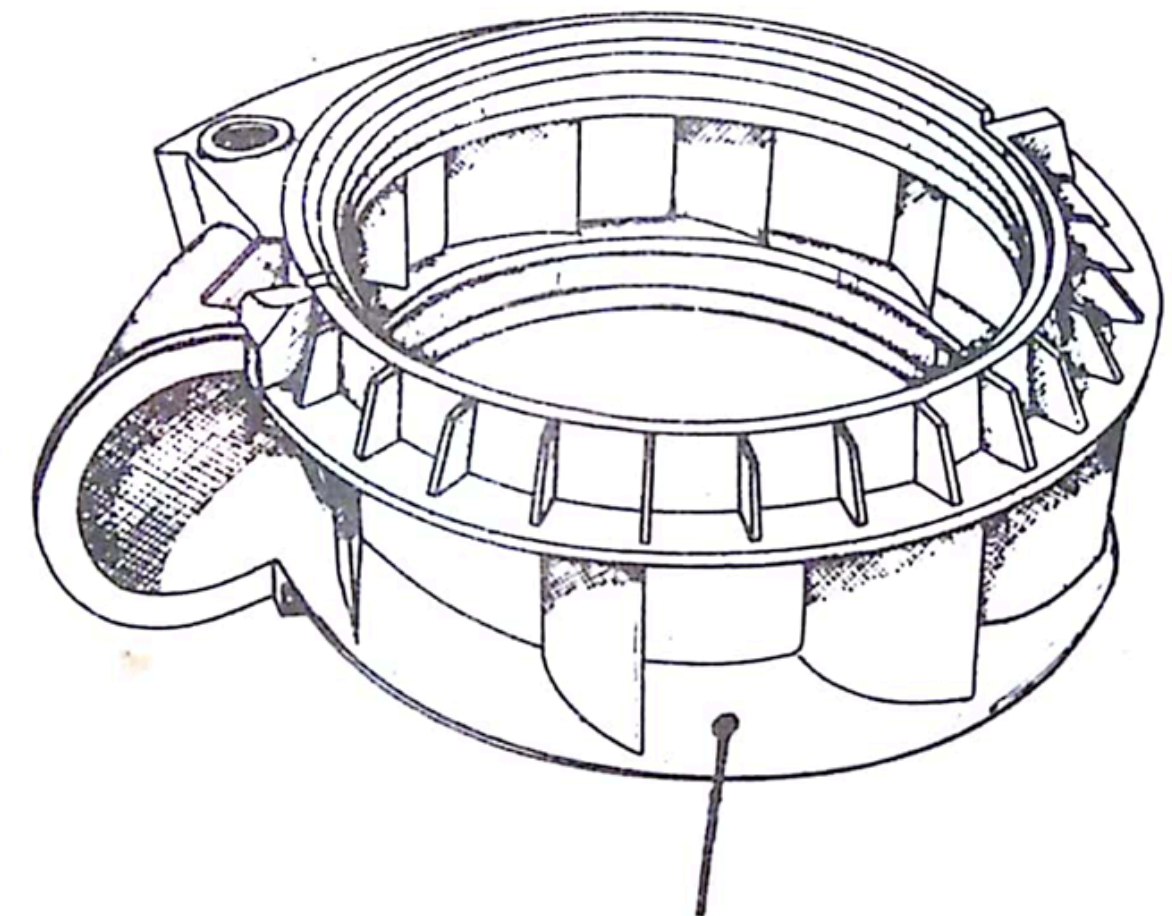
Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA



Antedistribuidor

# COMPONENTES: Distribuidor

## 6.3

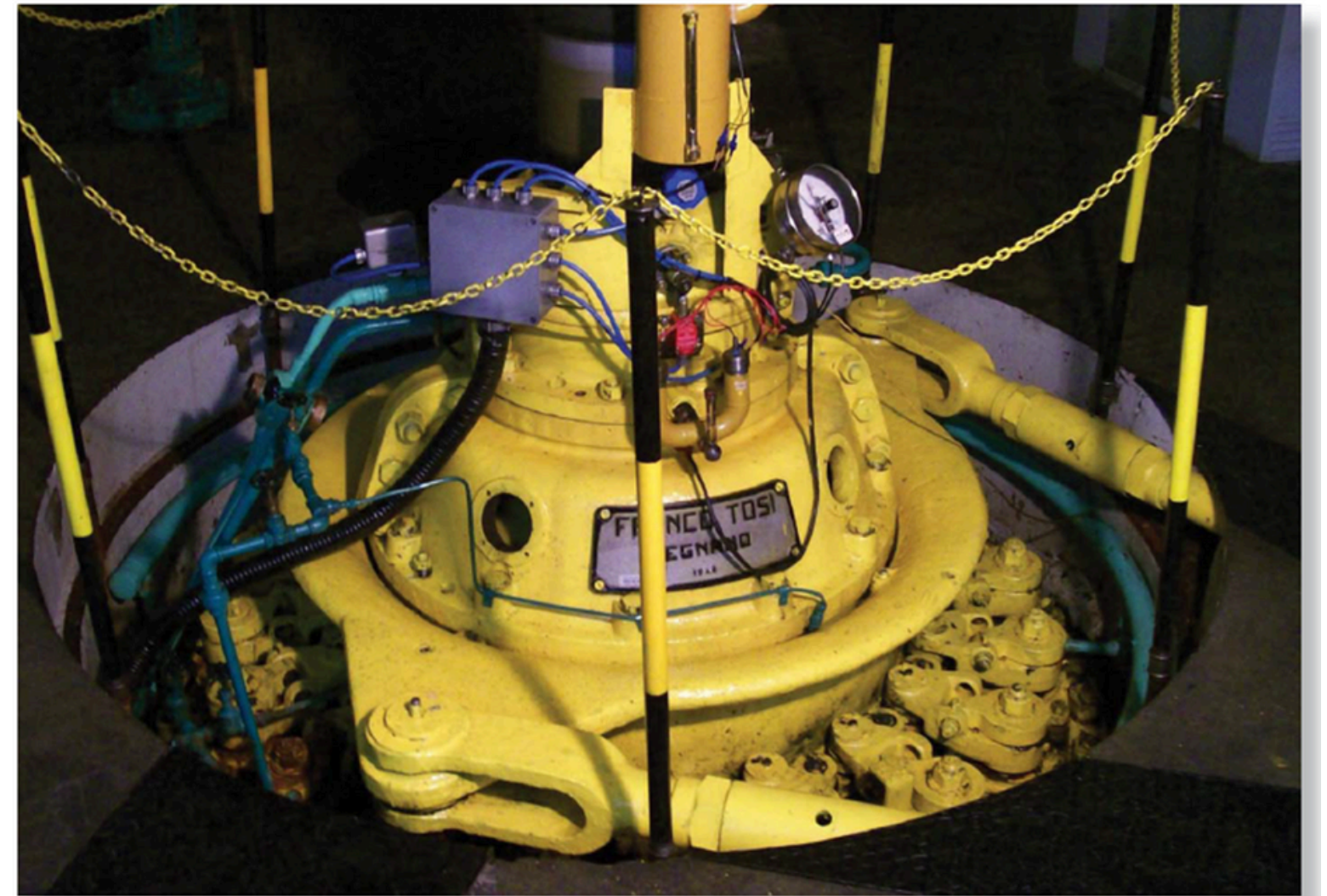
Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



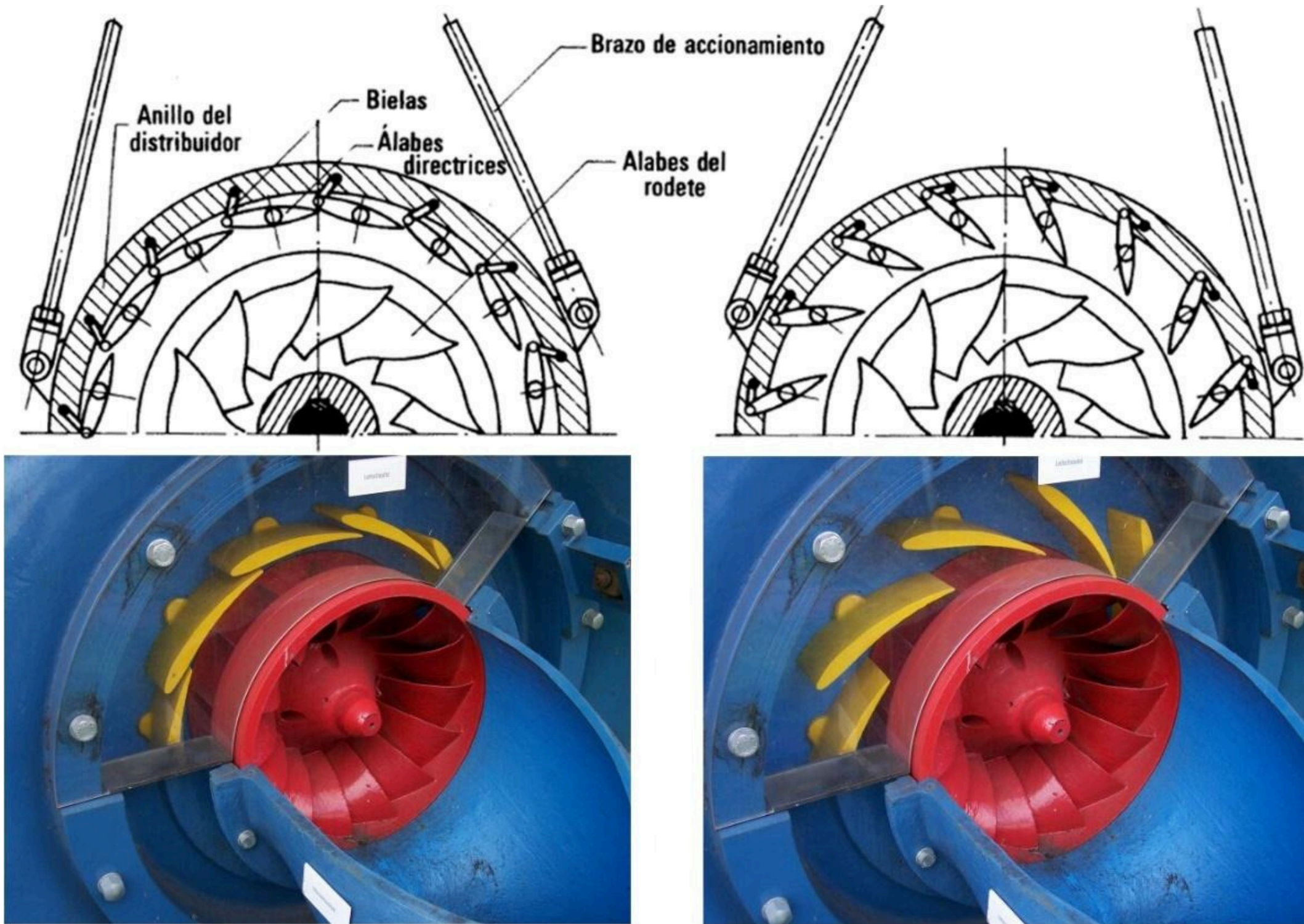
FACULTAD  
DE INGENIERÍA



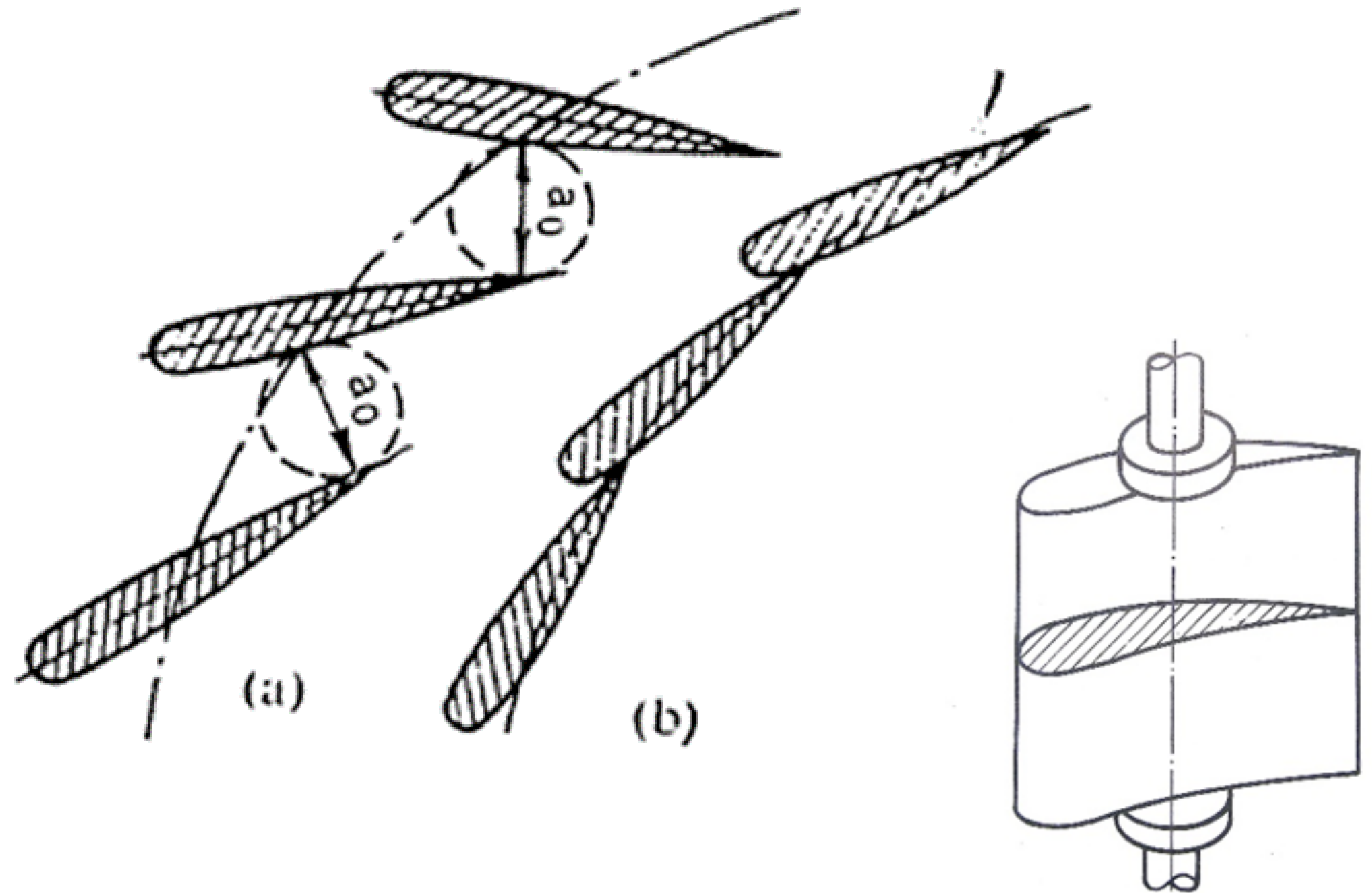
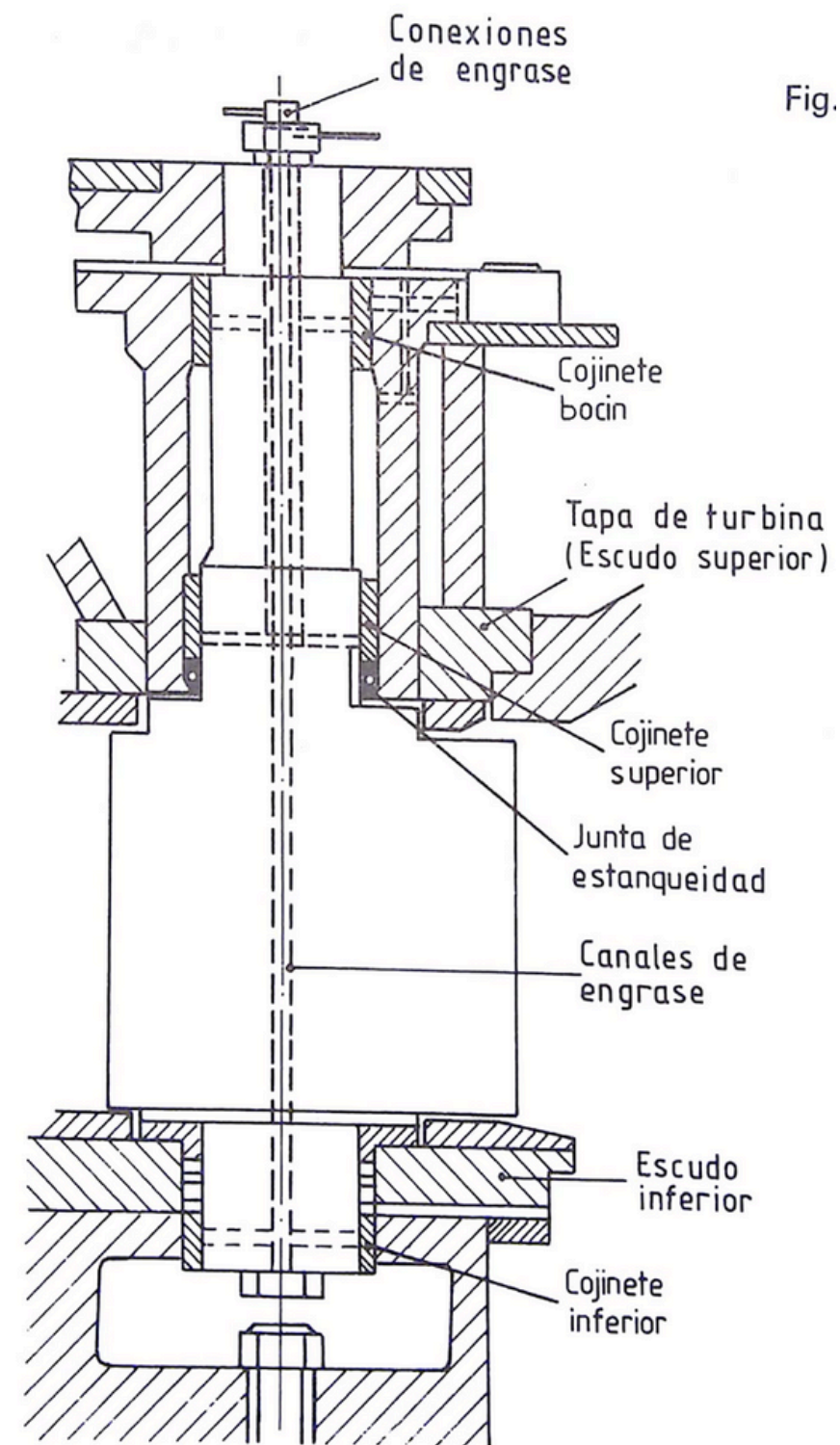
Complejo Hidroeléctrico NIHUIL I



# COMPONENTES: Distribuidor

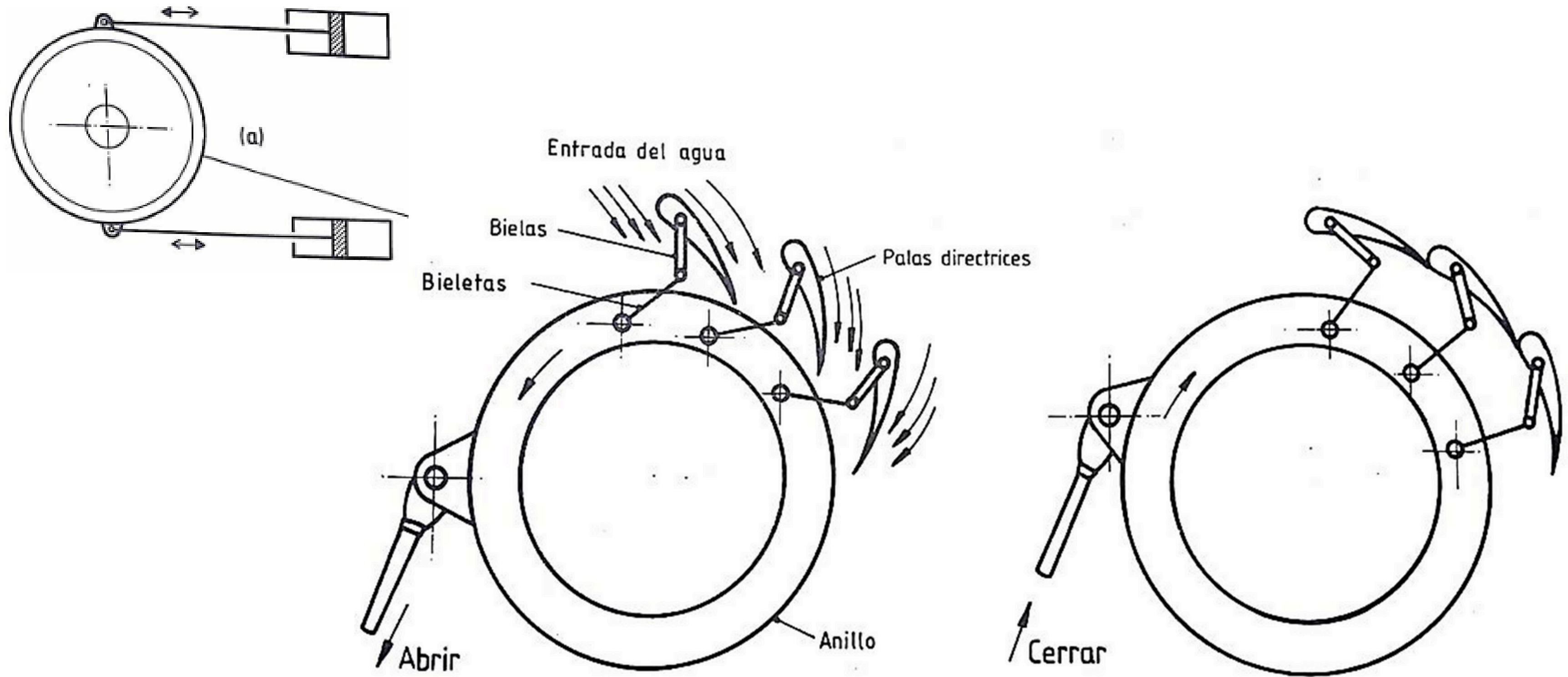


# COMPONENTES: Distribuidor





# COMPONENTES: Distribuidor



# COMPONENTES: Rodete

## 6.4

Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



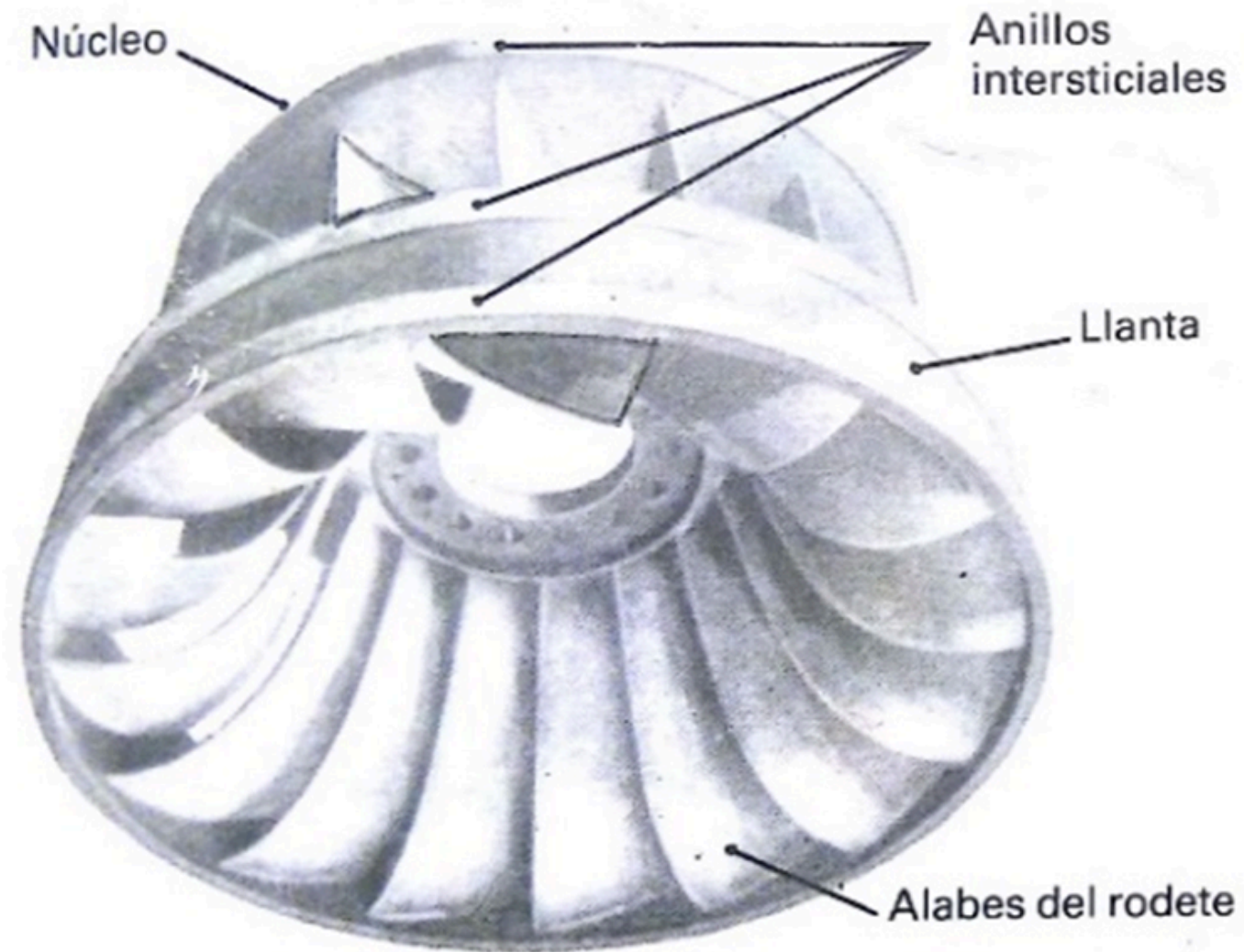
FACULTAD  
DE INGENIERÍA



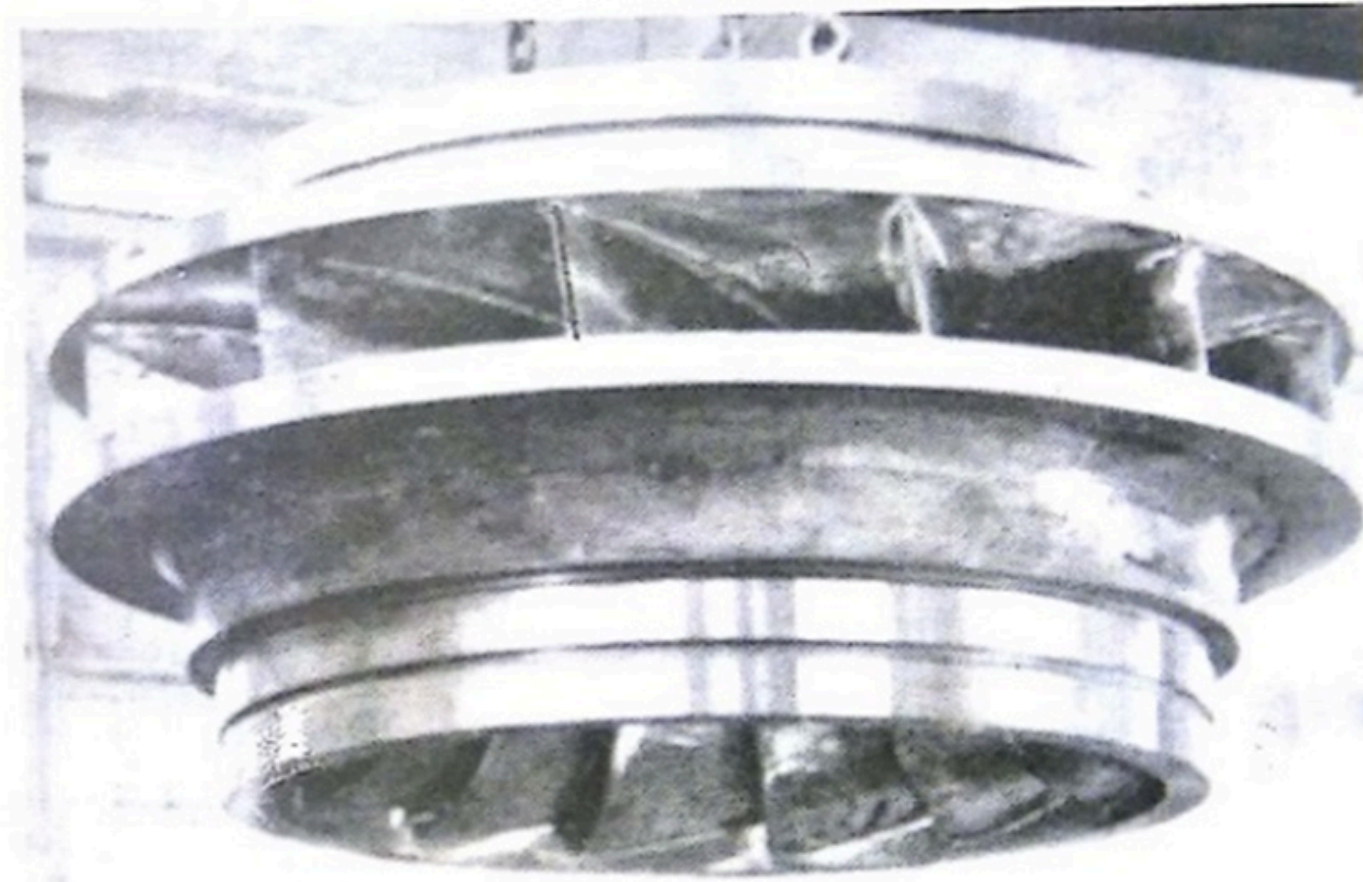
Llantas a las que se le sueldan paletas  
No tienen partes móviles



# COMPONENTES: Rodete



Más cerca de las Kaplan!



Flujo bastante más radial, apertura menor  
Distribuidores chicos para grandes saltos



# COMPONENTES: Rodete

## Complejo Hidroeléctrico Cabra Corral

- $H=94,75$  m
- $Q=29,00$  m<sup>3</sup>/s
- $P=34,60$  MW



## Complejo Hidroeléctrico El Carrizal

- $H=46,00$  m
- $Q=33,70$  m<sup>3</sup>/s
- $P=8,50$  MW



# COMPONENTES: Rodete

## Complejo Hidroeléctrico Los Reyunos

- $H=106,00$  m
- $Q=34,80$  m<sup>3</sup>/s
- $P=115,00$  MW

Es más fácil revertir el sentido del flujo  
para usarlo como una bomba!  
Respecto a Kaplan o Pelton





# COMPONENTES: Tubo Difusor

## 6.5

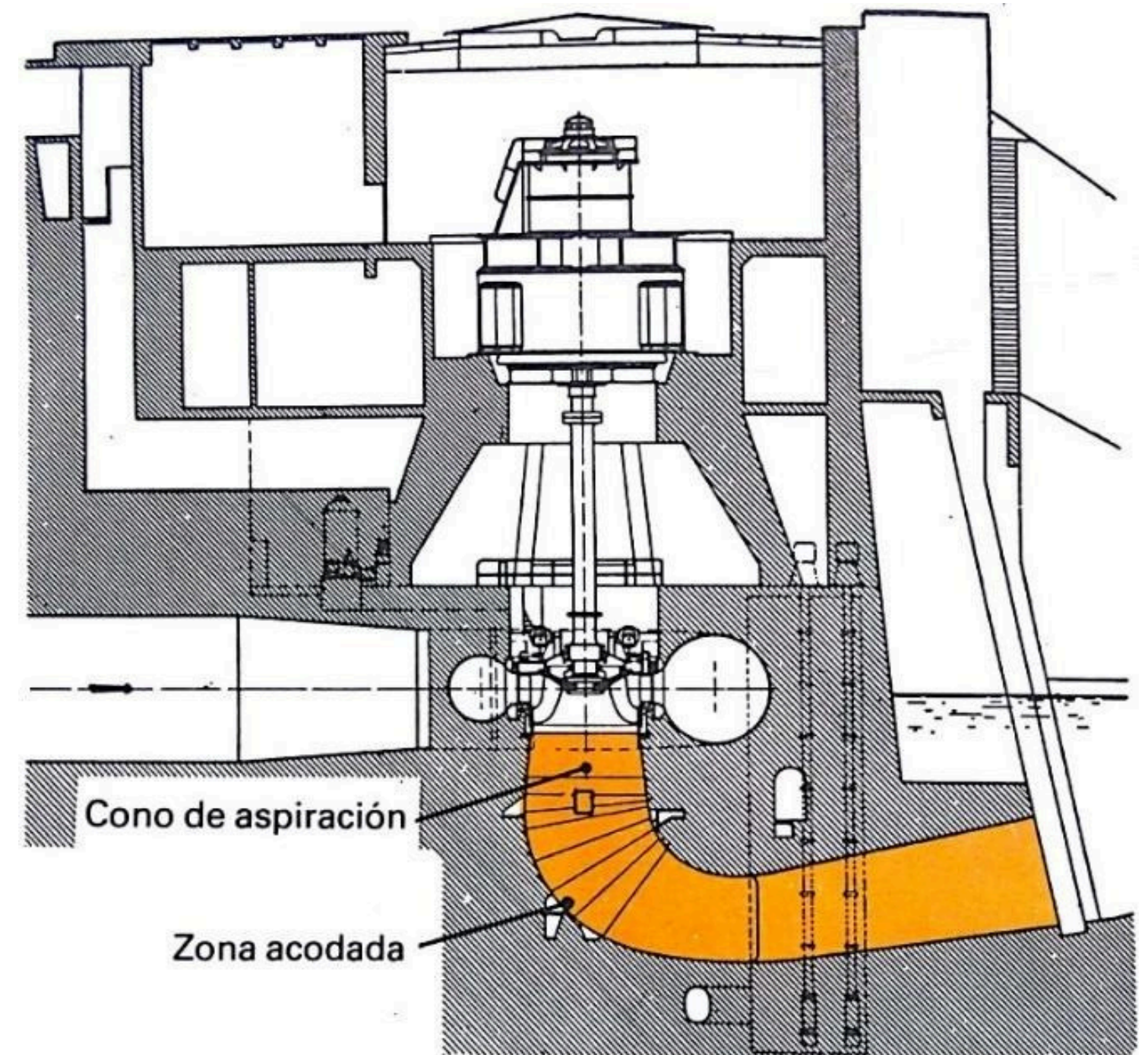
Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

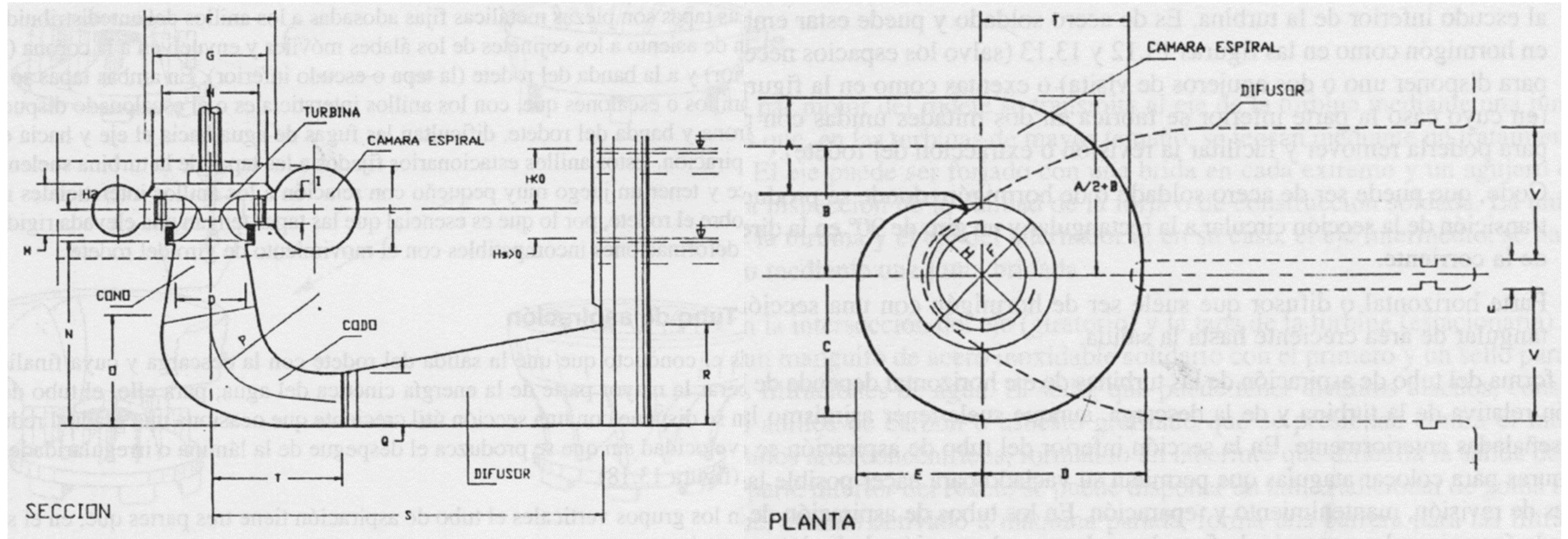


FACULTAD  
DE INGENIERÍA





# COMPONENTES: Tubo Difusor





# COMPONENTES: Eje

## 6.6

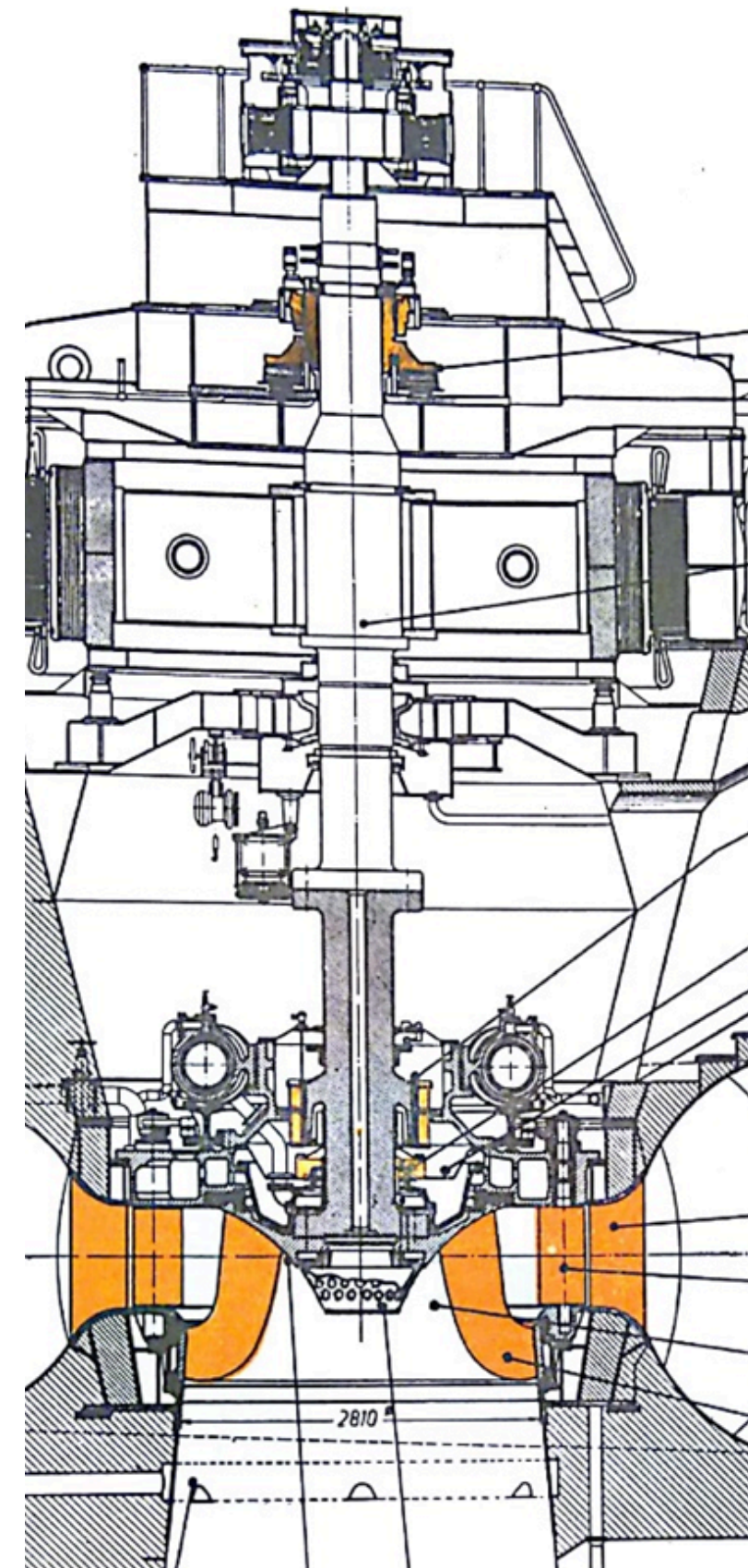
Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

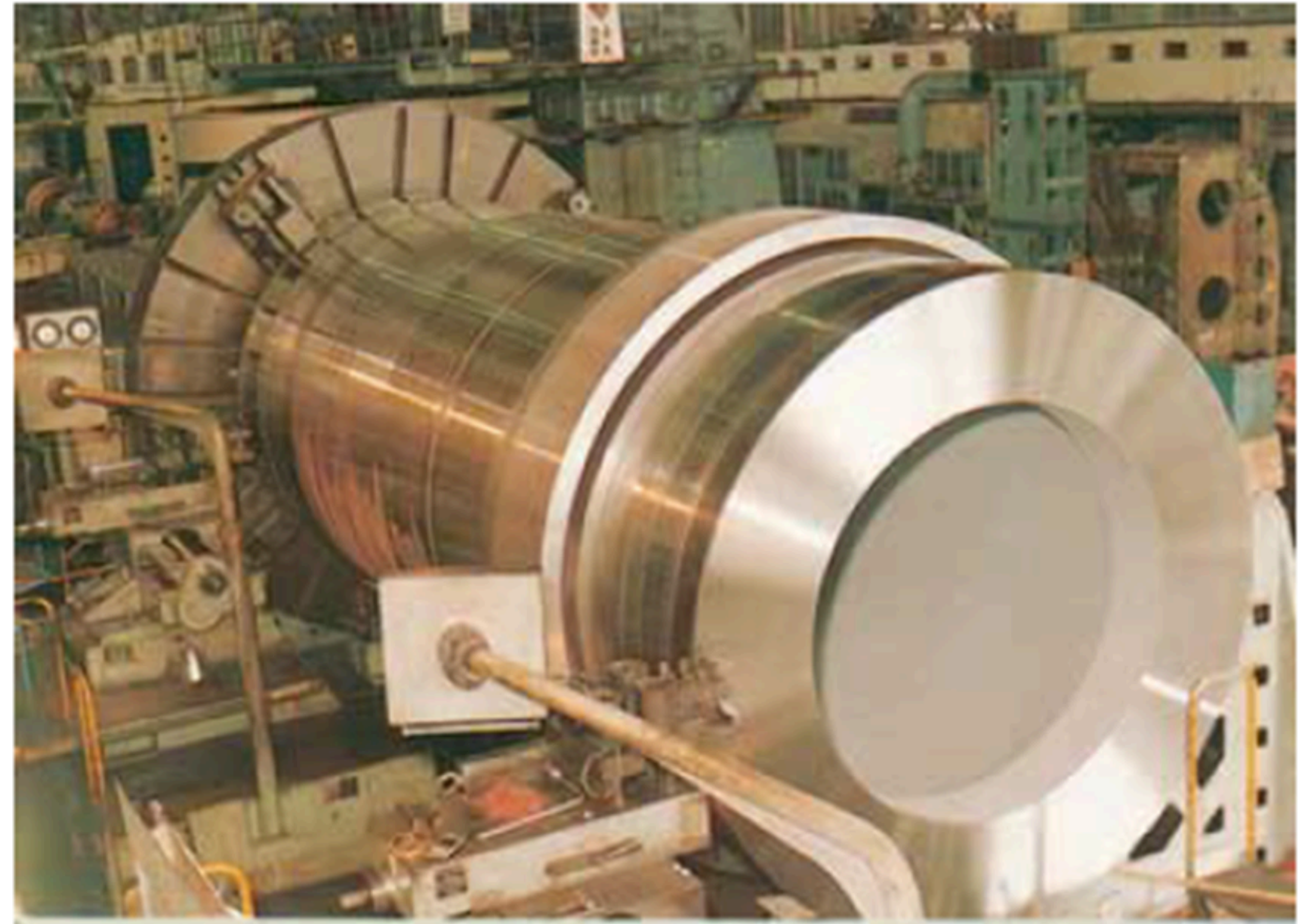


FACULTAD  
DE INGENIERÍA





# COMPONENTES: Eje





# COMPONENTES: Equipo de sellado del eje

## 6.7

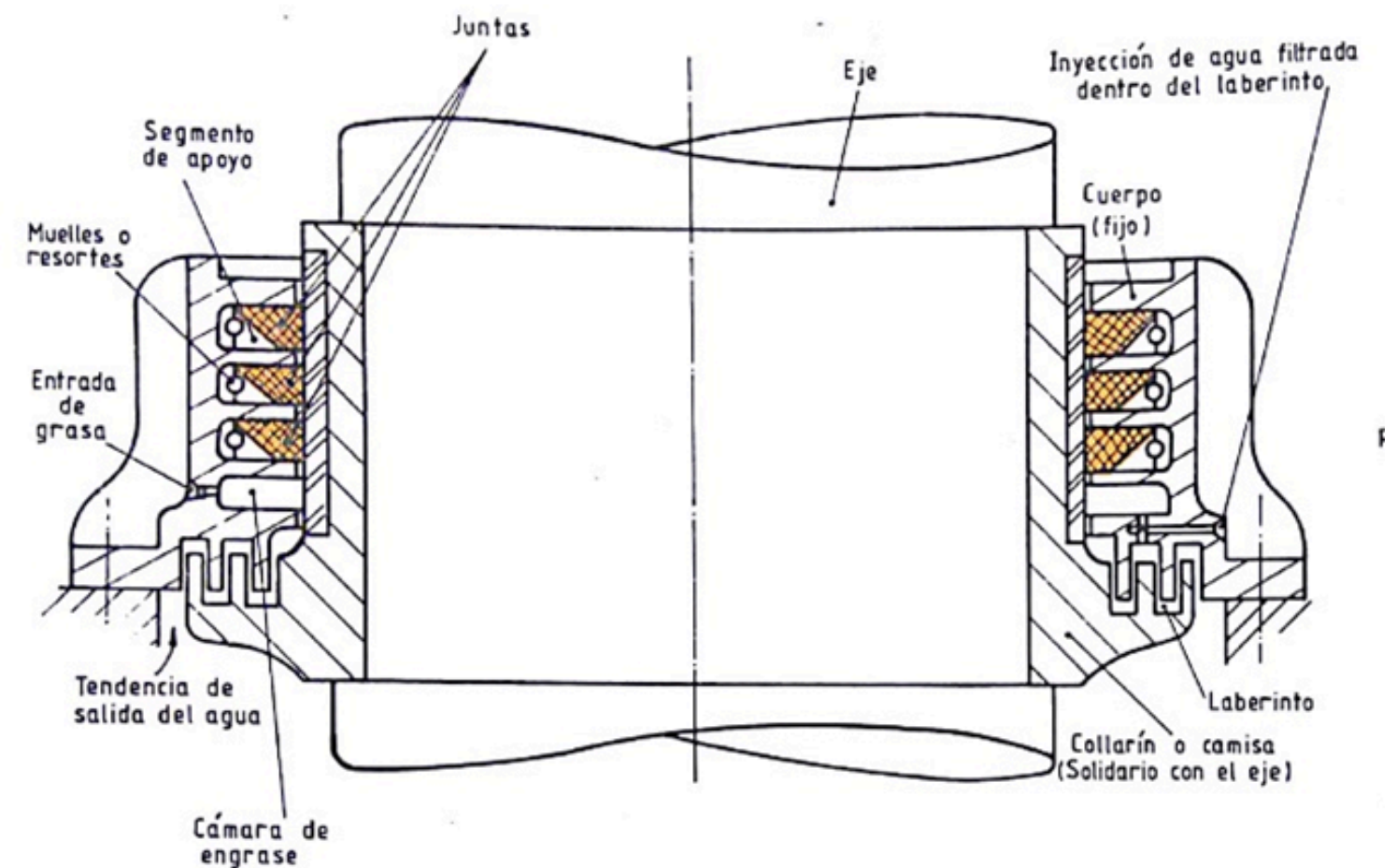
Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



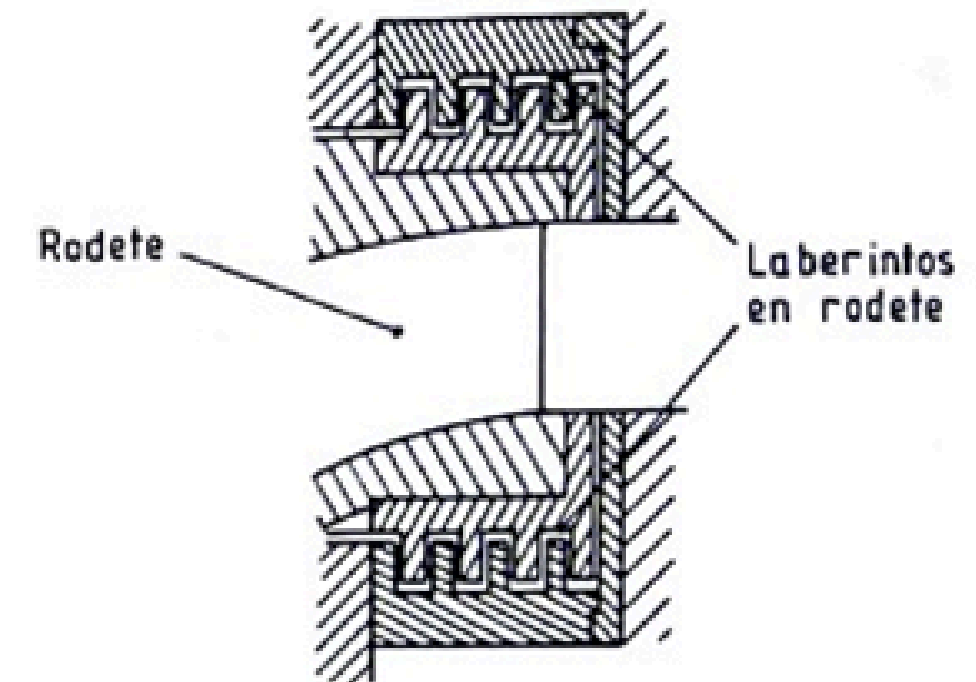
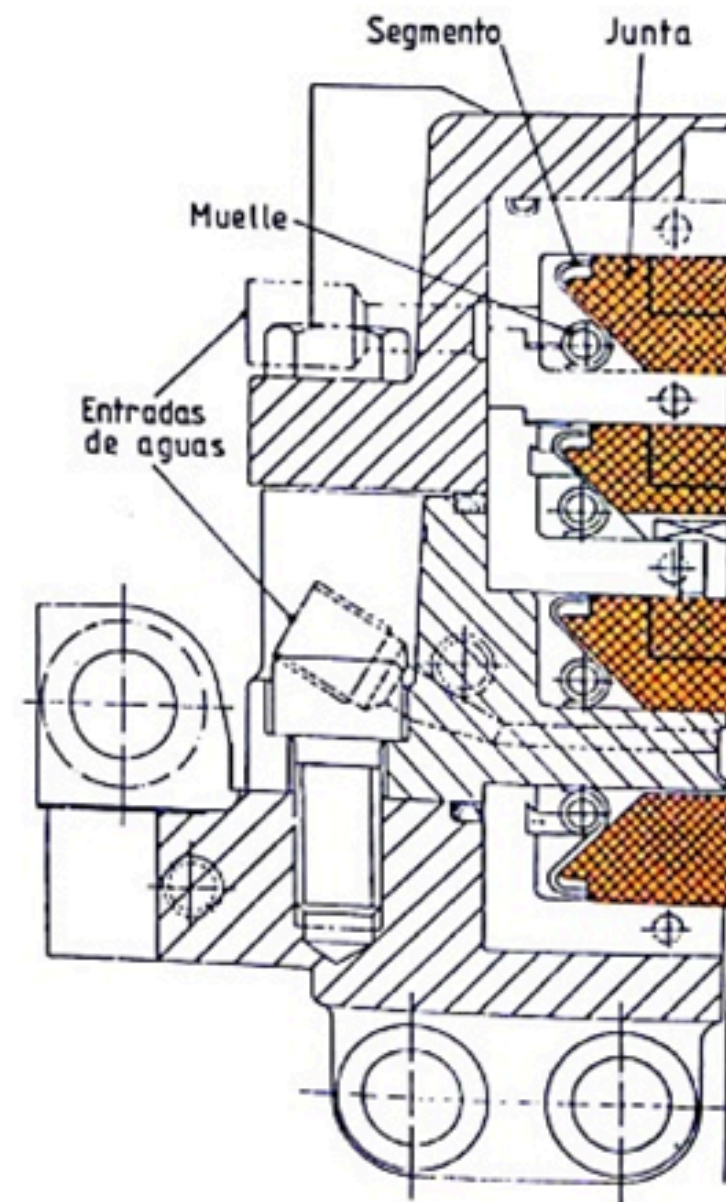
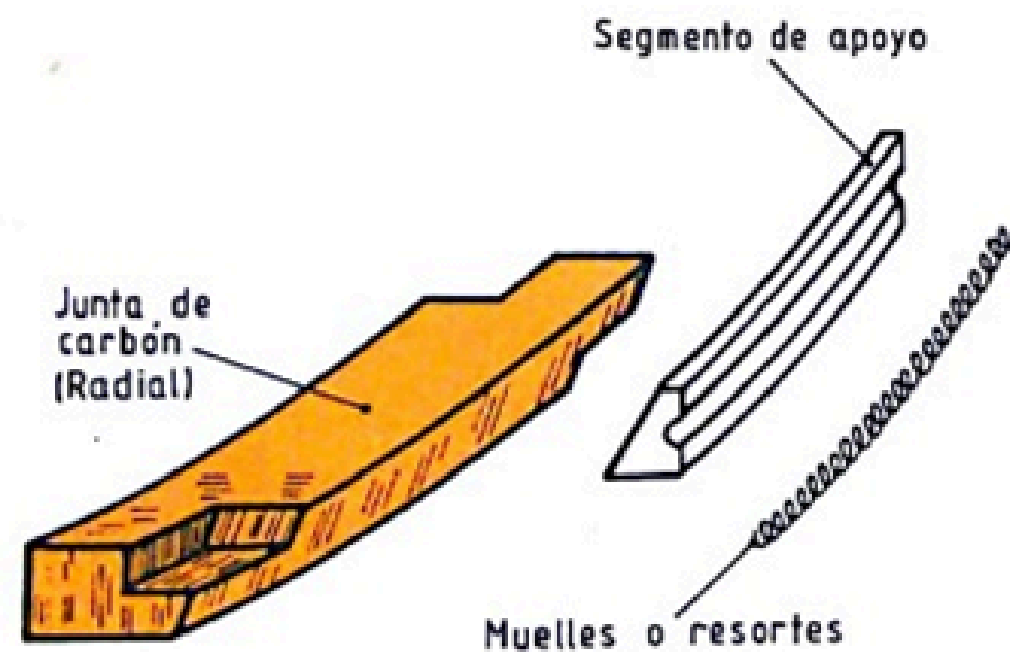
UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA



# COMPONENTES: Equipo de sellado del eje



# COMPONENTES: Cojinete Guía

## 6.8

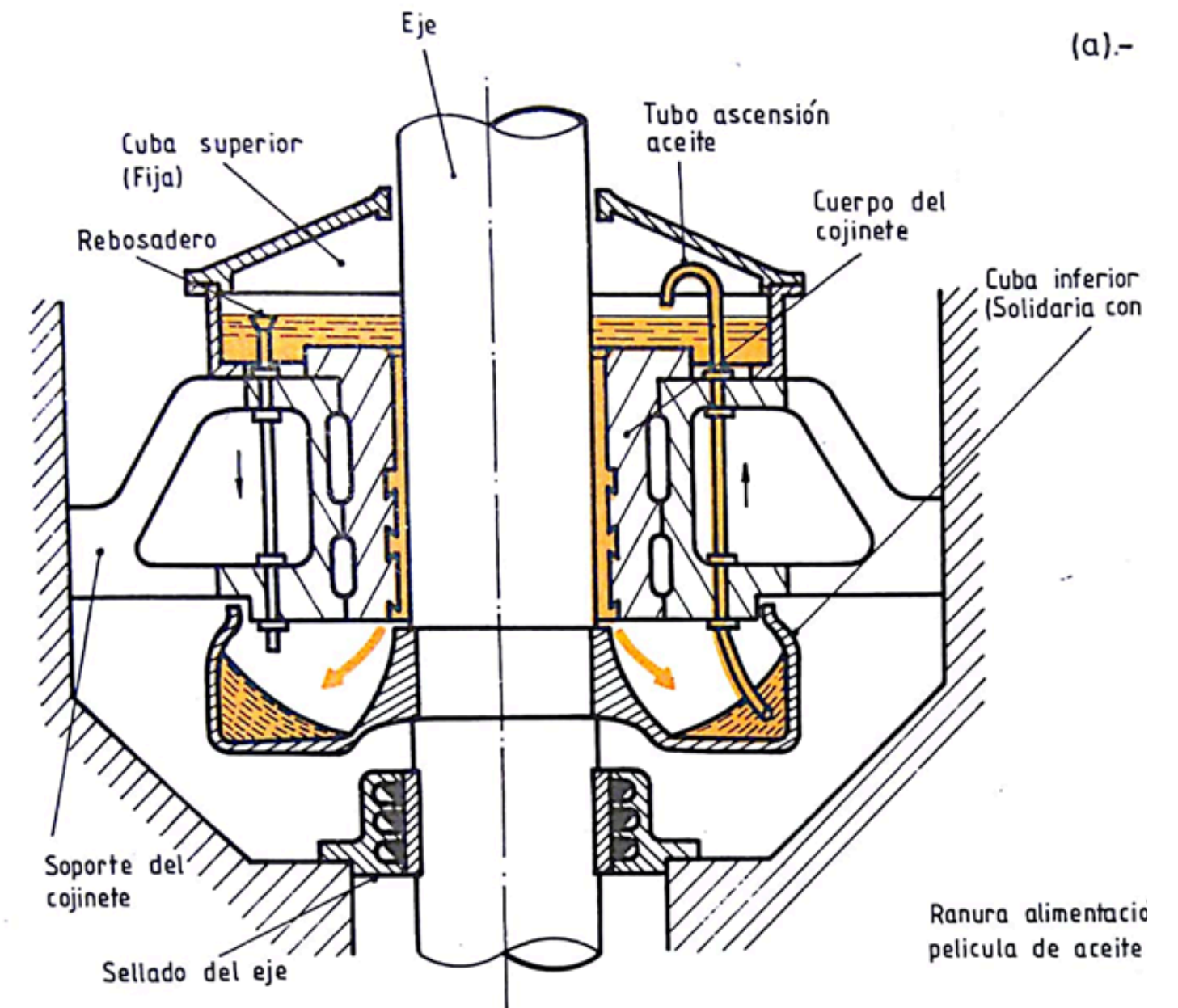
Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

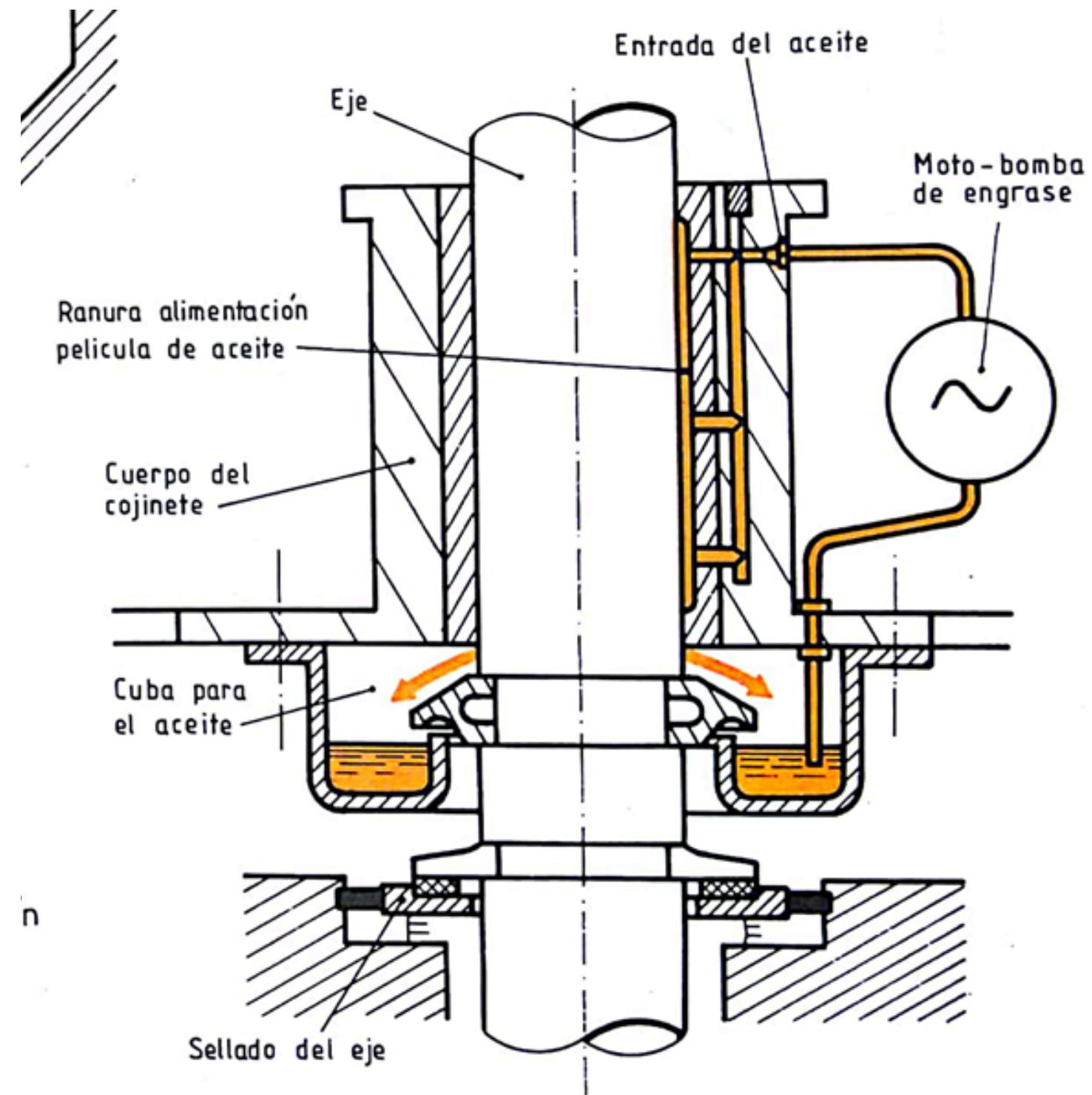


FACULTAD  
DE INGENIERÍA





# COMPONENTES: Cojinete Guía



# COMPONENTES: Cojinete de Empuje

## 6.9

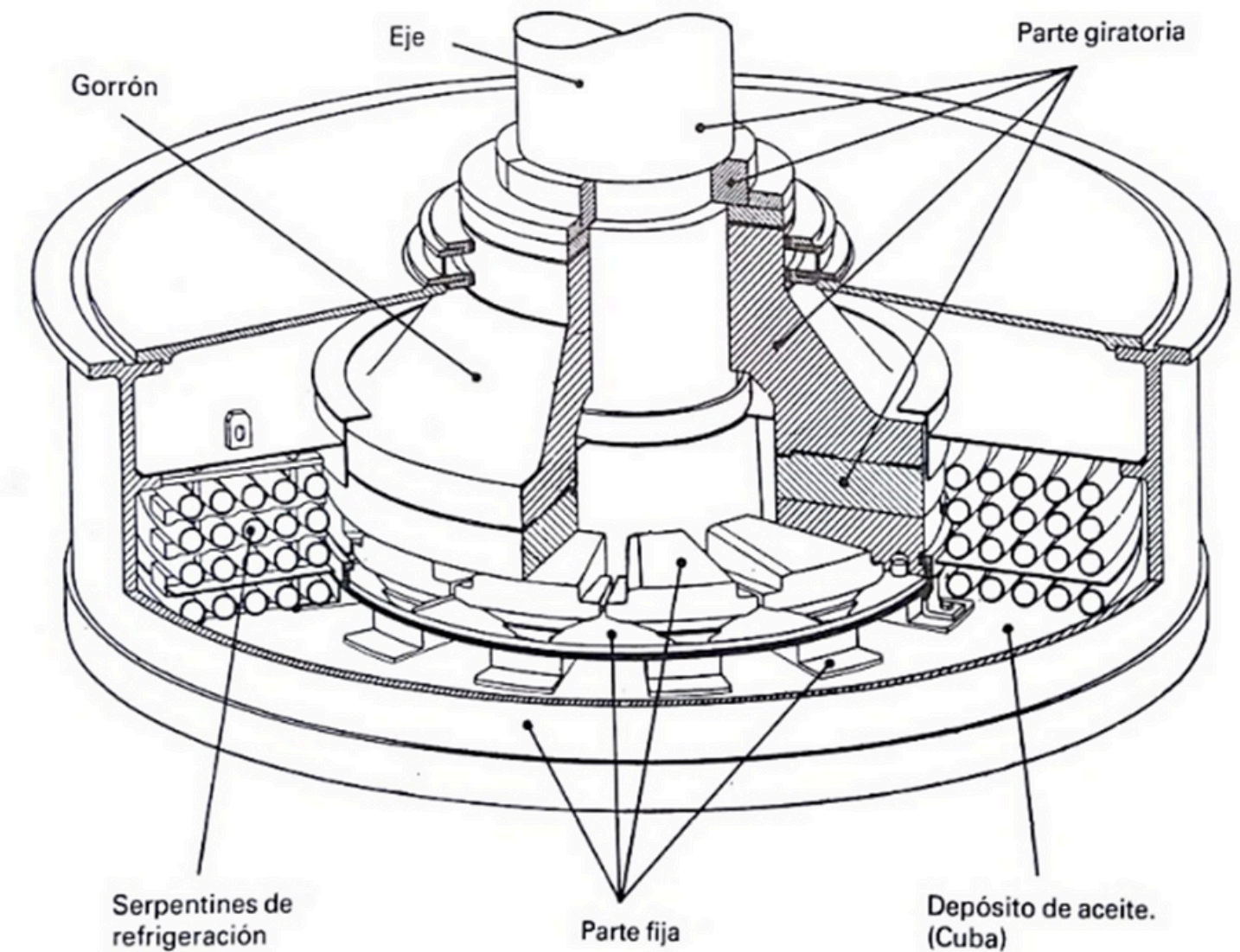
Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

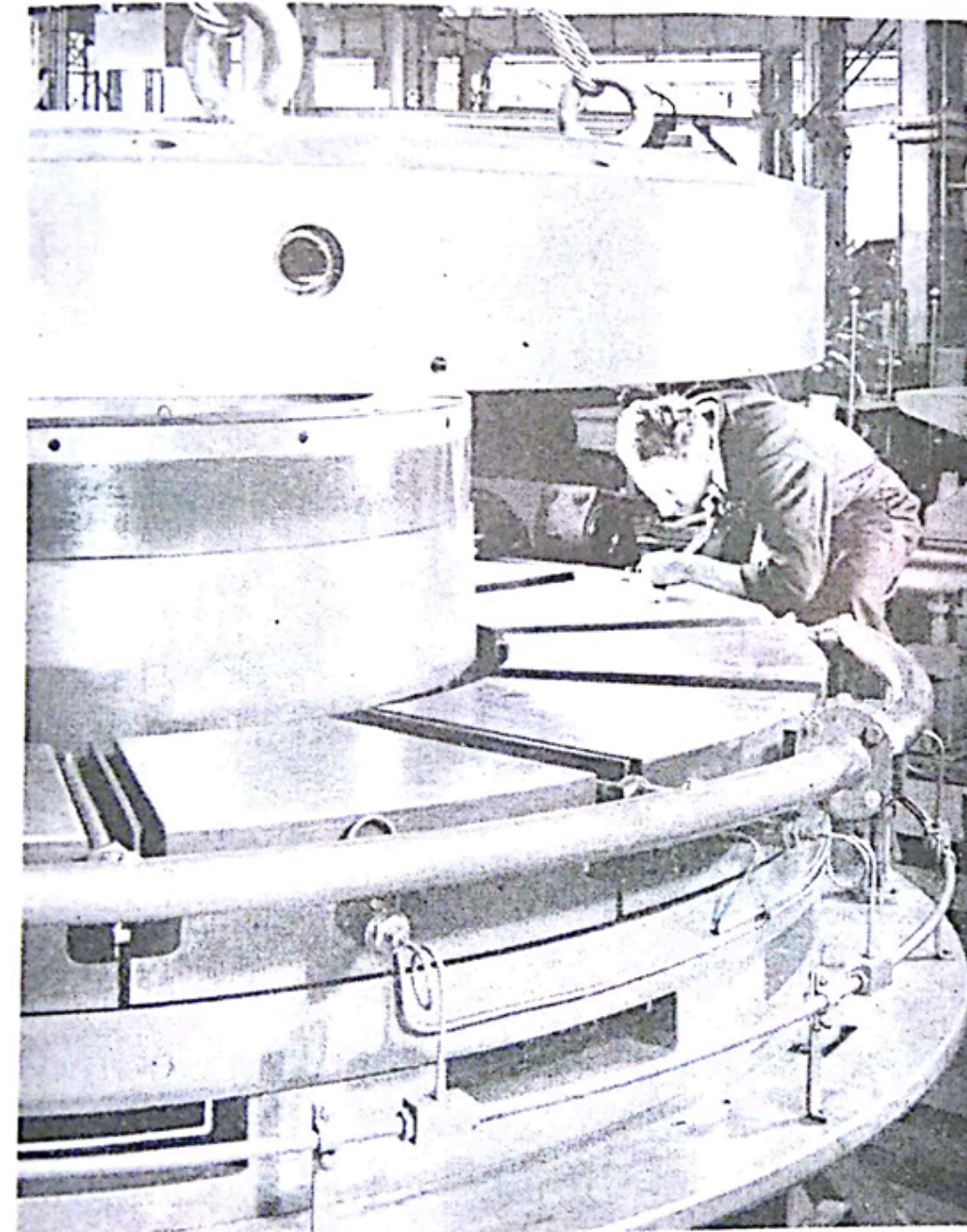
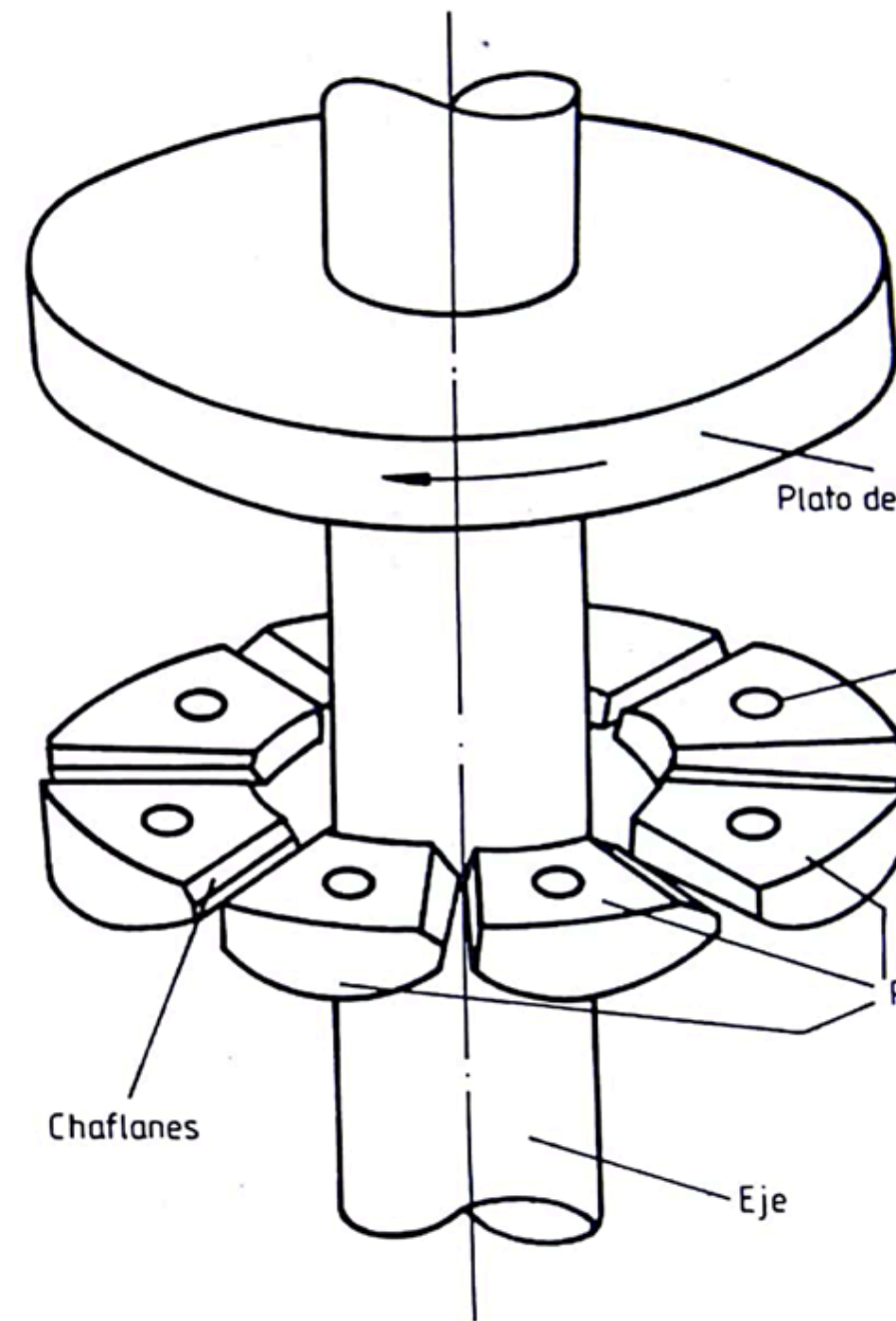


FACULTAD  
DE INGENIERÍA





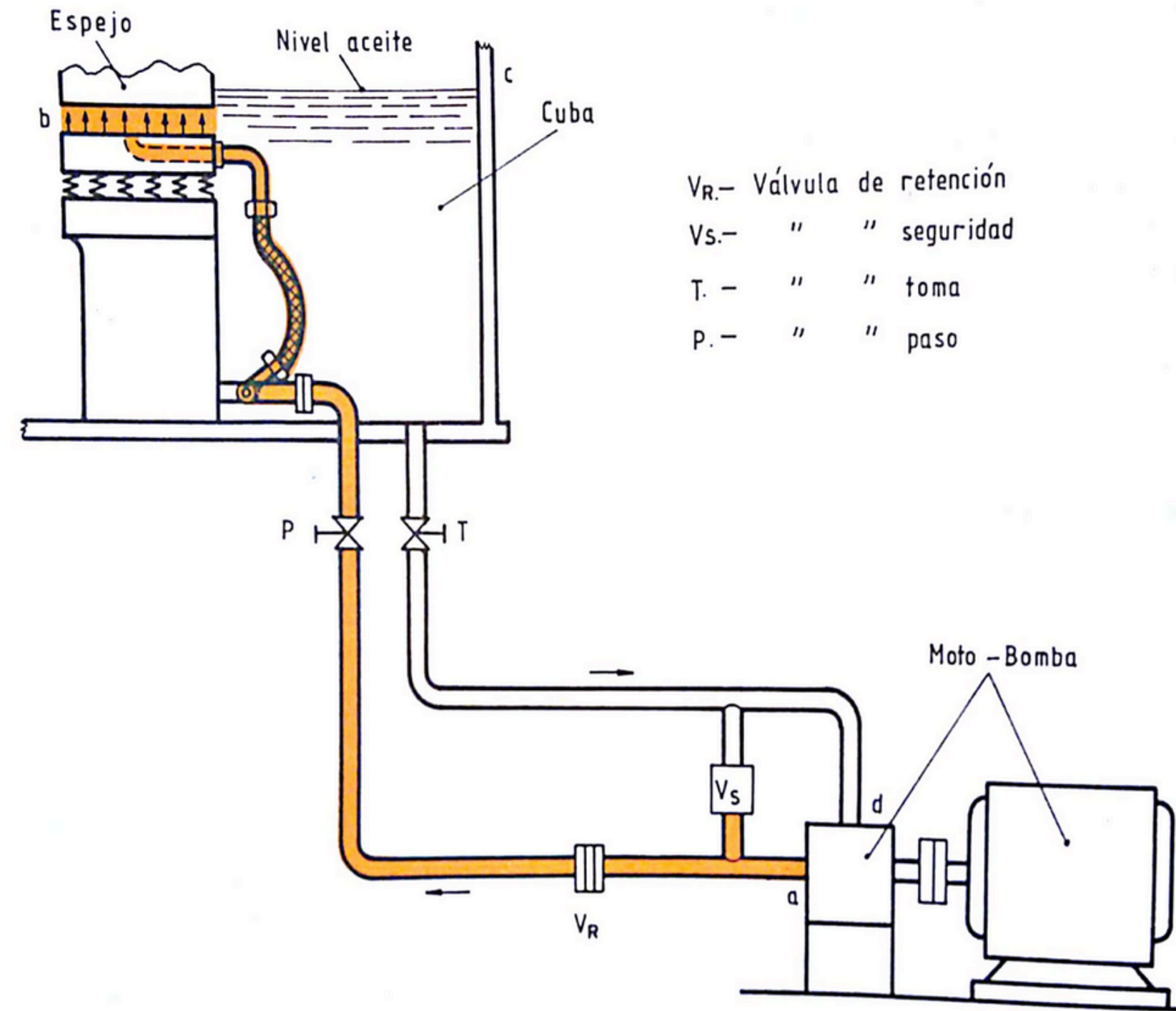
# COMPONENTES: Cojinete de Empuje



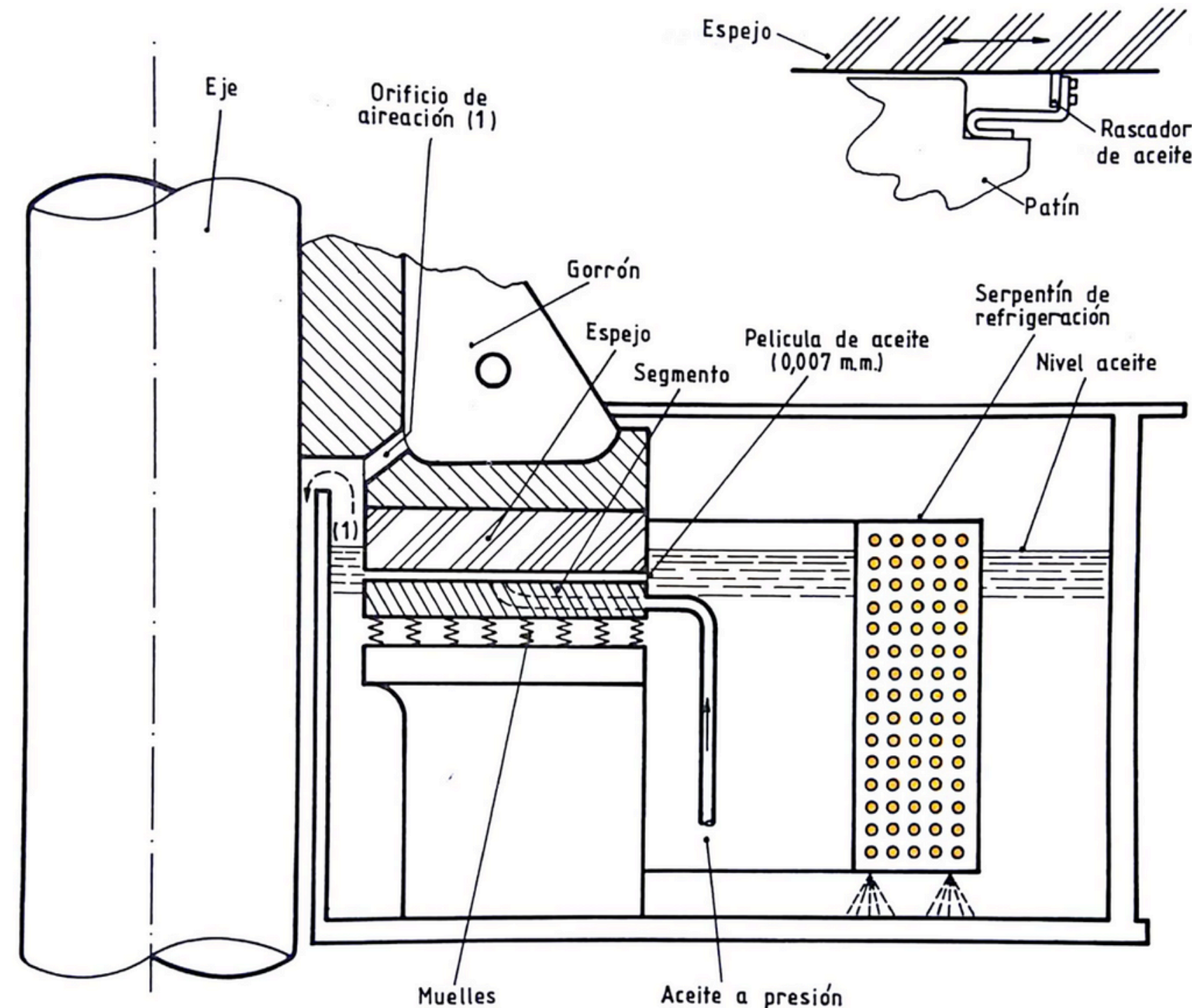


# COMPONENTES: Cojinete de Empuje

Literalmente flota sobre el aceite (1mm)



# COMPONENTES: Cojinete de Empuje



(1).— Evita salida de aceite entre el eje y la cuba, caso de producirse efecto de vacío.

7

# VARIACIÓN DE VELOCIDAD Y PRESIÓN

Aprovechamientos Hidráulicos - 2025



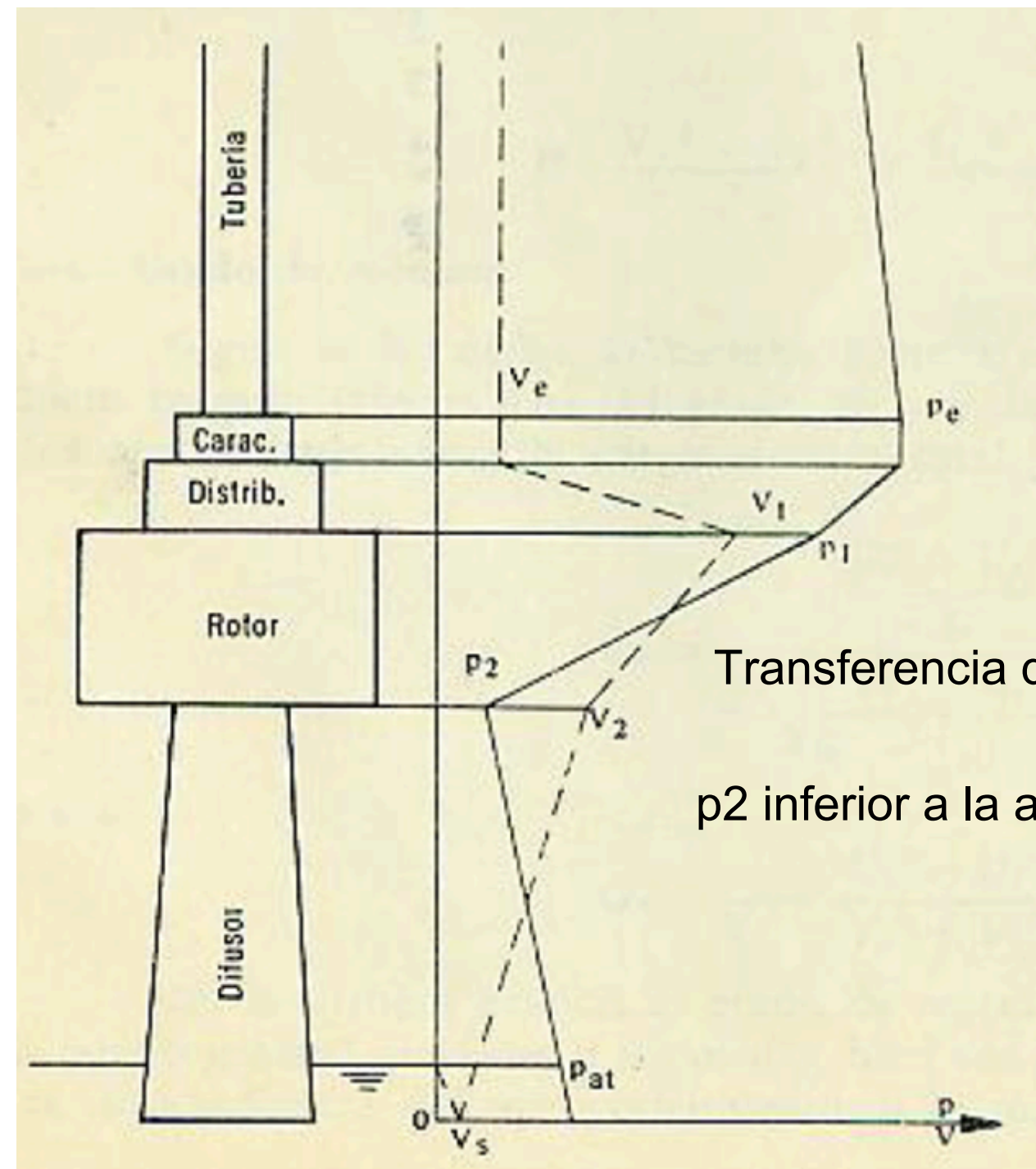
UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA



# VARIACIÓN DE VELOCIDAD Y PRESIÓN



La velocidad aumenta al ingreso

Transferencia de energía (Bernoulli confunde)

$p_2$  inferior a la atmosférica: cavitación

8

# VELOCIDAD SINCRÓNICA Y DE EMBALAMIENTO

Aprovechamientos Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA

# VELOCIDAD SINCRÓNICA Y DE EMBALAMIENTO

Los alternadores acoplados a las turbinas hidráulicas no pueden girar con una velocidad arbitraria, sino que, al estar conectados a la red eléctrica, deben girar con una velocidad que origine una corriente alterna con la frecuencia propia de la red. Se debe verificar que:

$$n = \frac{60 \cdot f}{2p}$$

Las velocidades de giro correspondientes a esta condición se denominan velocidades de sincronismo o síncronas y dependen del número de pares de polos utilizado.



# VELOCIDAD SINCRÓNICA Y DE EMBALAMIENTO

Cuando se retira bruscamente la carga eléctrica del alternador, el distribuidor de la turbina comienza a cerrarse para reducir el caudal de agua admitido.

Mientras se completa el proceso de cierre, el grupo se acelera como consecuencia del exceso de energía hidráulica utilizada y alcanza la velocidad máxima coincidiendo con el cierre total. Esta suele oscilar entre el **130-160% de la velocidad síncrona** para las turbinas de tamaño medio y grande y entre el **140-180% para los grupos pequeños**.

# VELOCIDAD SINCRÓNICA Y DE EMBALAMIENTO

Si por una operación defectuosa, el distribuidor no cierra totalmente, se sigue turbinando un caudal de agua que depende del grado de apertura y de las características de la turbina. Con lo que el grupo se acelera hasta alcanzar una velocidad límite con la que se anula el rendimiento de la turbina.

La velocidad de giro correspondiente a esta situación y a una apertura total del distribuidor se denomina **velocidad de embalamiento** y constituye un estado límite para el diseño mecánico de la turbina y sus componentes.

La velocidad de embalamiento se estima mediante un coeficiente multiplicador de la velocidad nominal que, por lo general, oscila en torno de 1.8 (para las TF 1.9).

9

# CURVAS CARACTERÍSTICAS

Aprovechamientos Hidráulicos - 2025



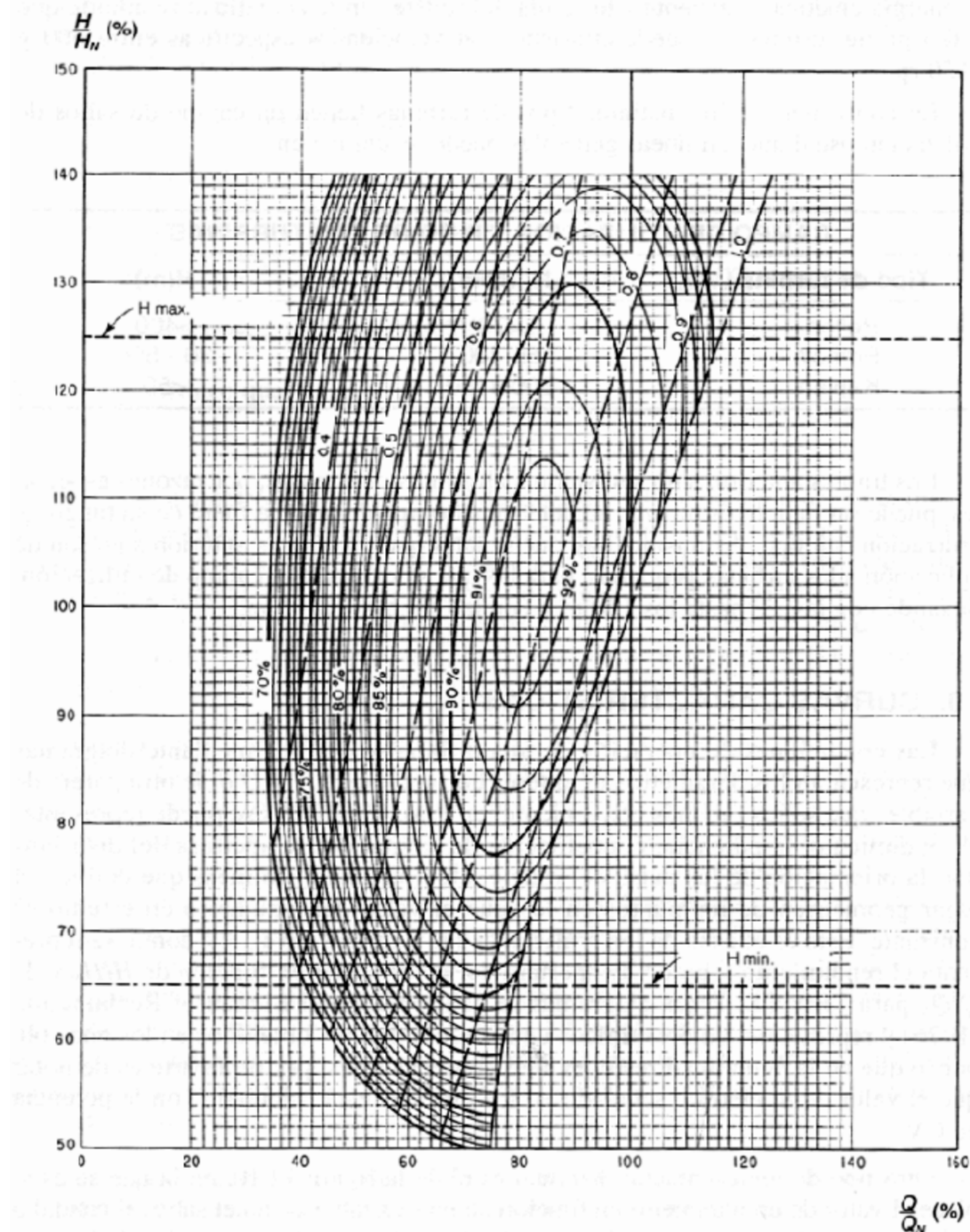
UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



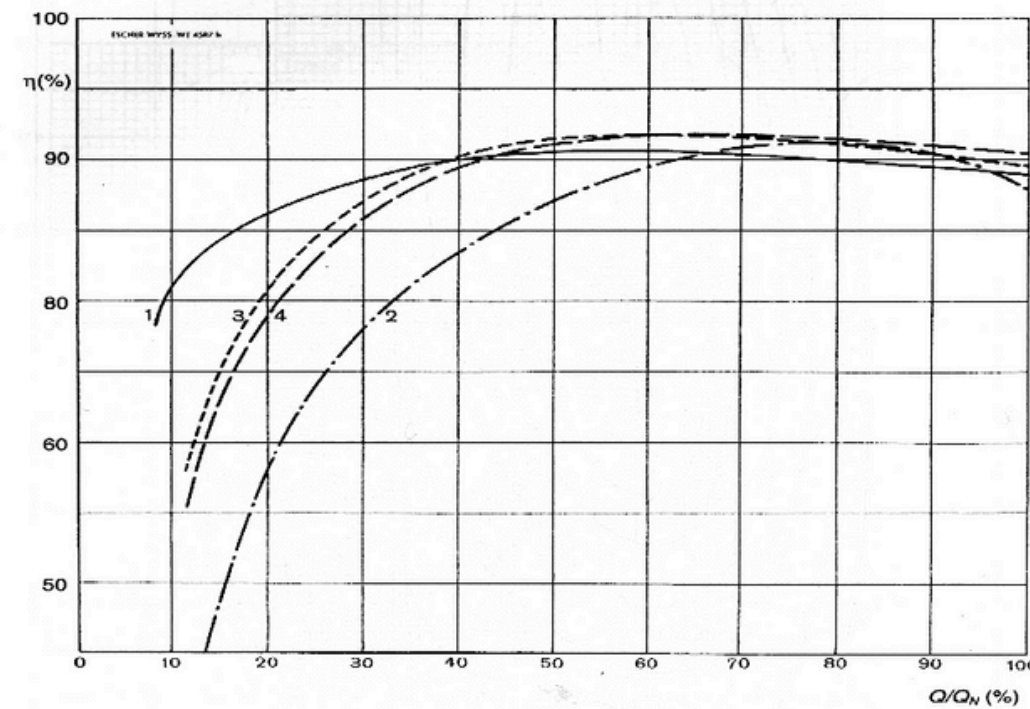
FACULTAD  
DE INGENIERÍA



# CURVAS CARACTERÍSTICAS

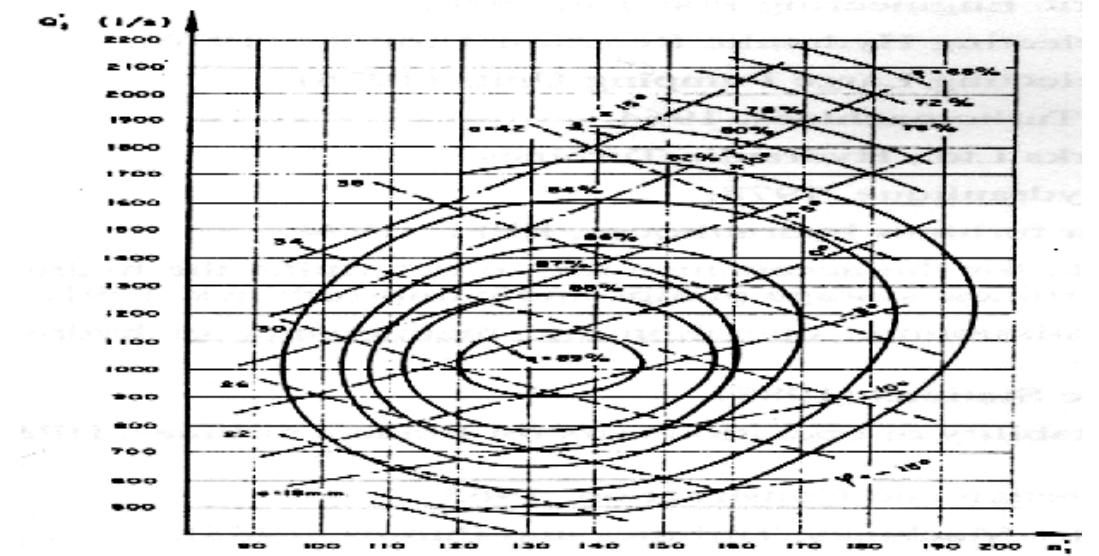


Pérdida de eficiencia con variación de caudal  
La Francis se cae a pedazos



**Fig. 14.10**  
Curvas de rendimiento típicas de las TP (1), TF (2), TK (3) y TB (4). Fuente: SULZER Hydro.

¡¡¡importante!!!



**Fig. 14.11**  
Curvas características universales. Fuente: SULZER Hydro.

10

# PRINCIPIOS TEÓRICOS GENERALES

Aprovechamientos Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA

# Triángulos de velocidades

## 10.1

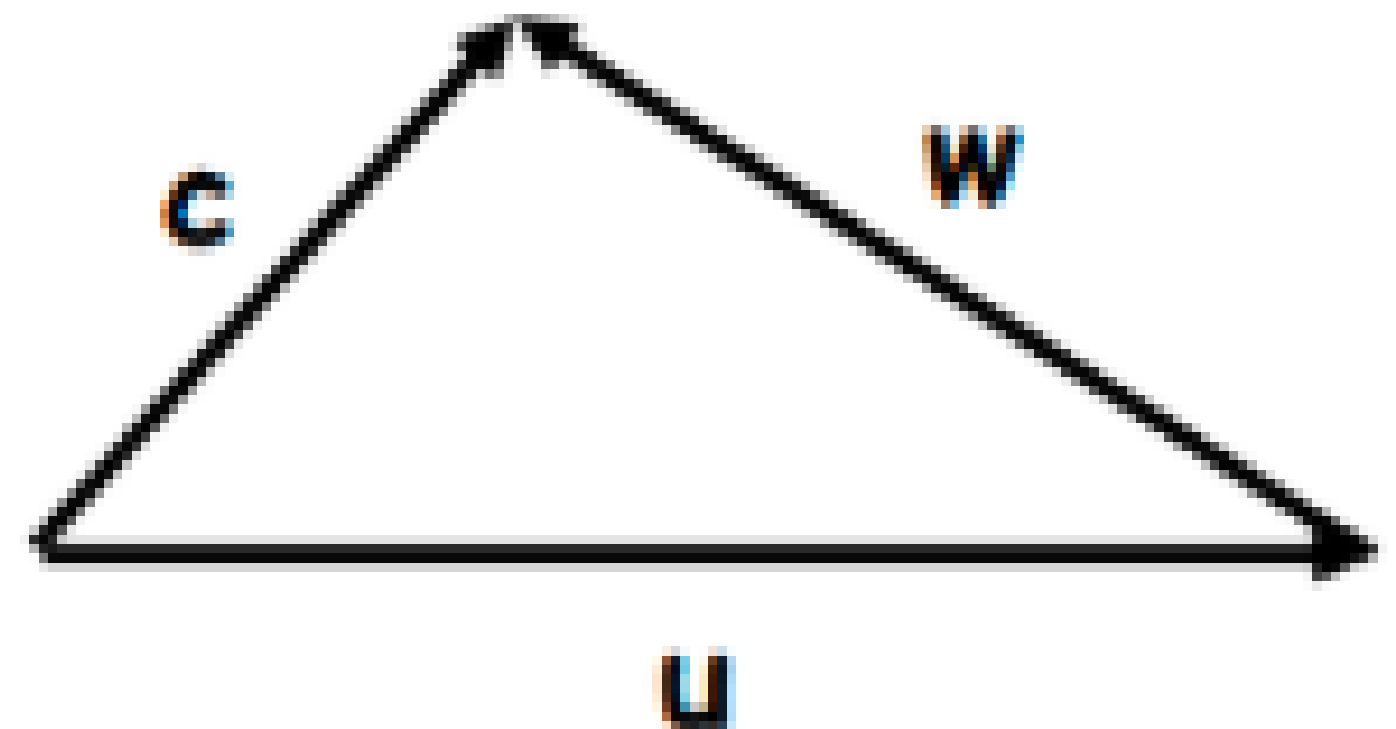
Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA





# Triángulos de velocidades

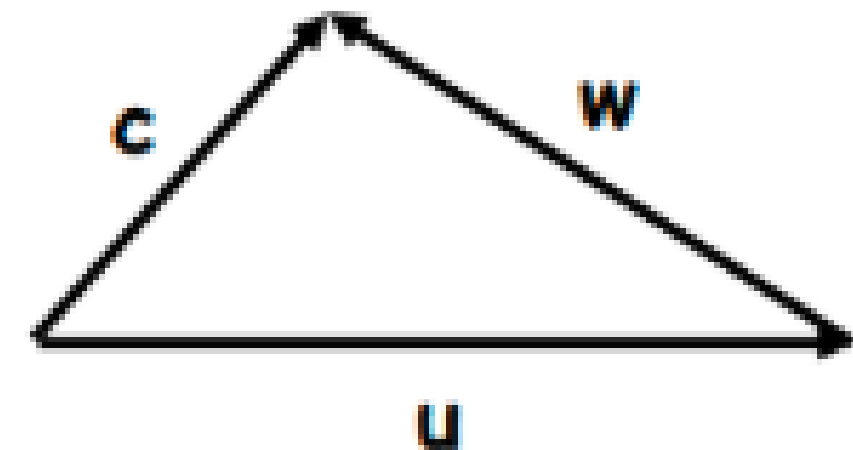
En cualquier punto de contacto entre el fluido y el rodete, se puede hablar de tres vectores de velocidad:

- La velocidad absoluta del fluido (de módulo  $c$ ).
- La velocidad relativa del fluido con respecto al rodete (de módulo  $w$ ).
- La velocidad lineal del rodete (de módulo  $u$ ).

$$\vec{u} = \vec{\omega} \cdot \vec{r}$$

Los tres vectores,  $c$ ,  $w$  y  $u$ , están relacionados en lo que se conoce como triángulos de velocidades, de modo que se cumple siempre que:

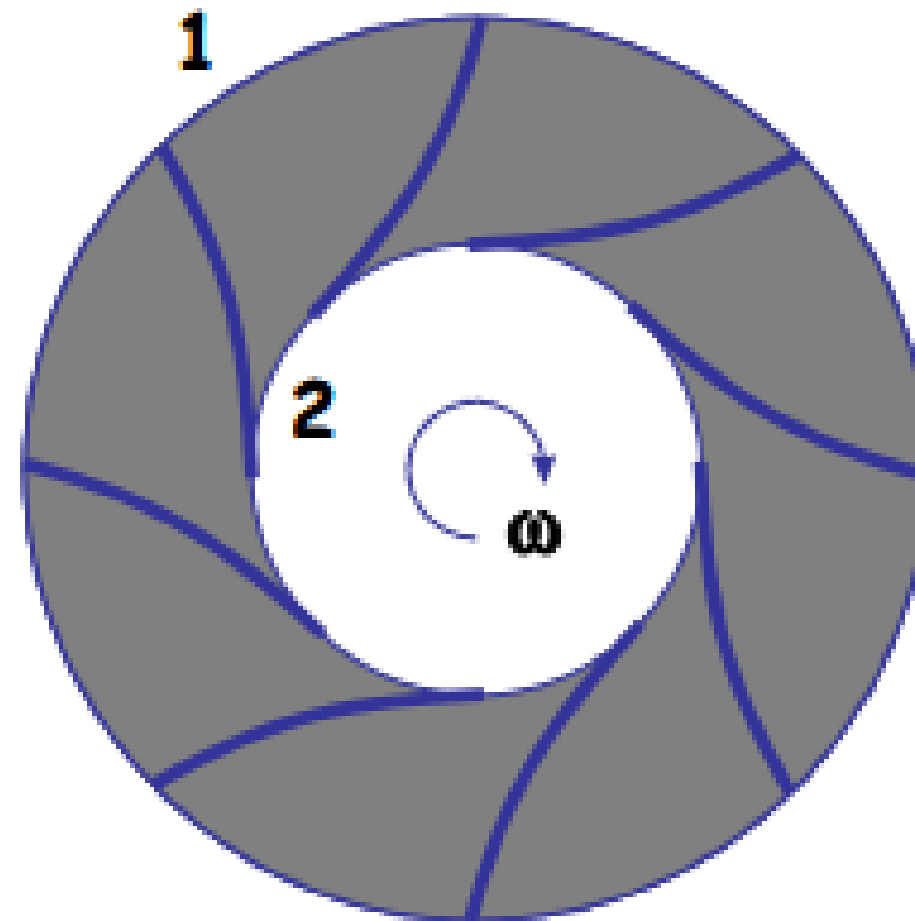
$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w}$$



# Triángulos de velocidades

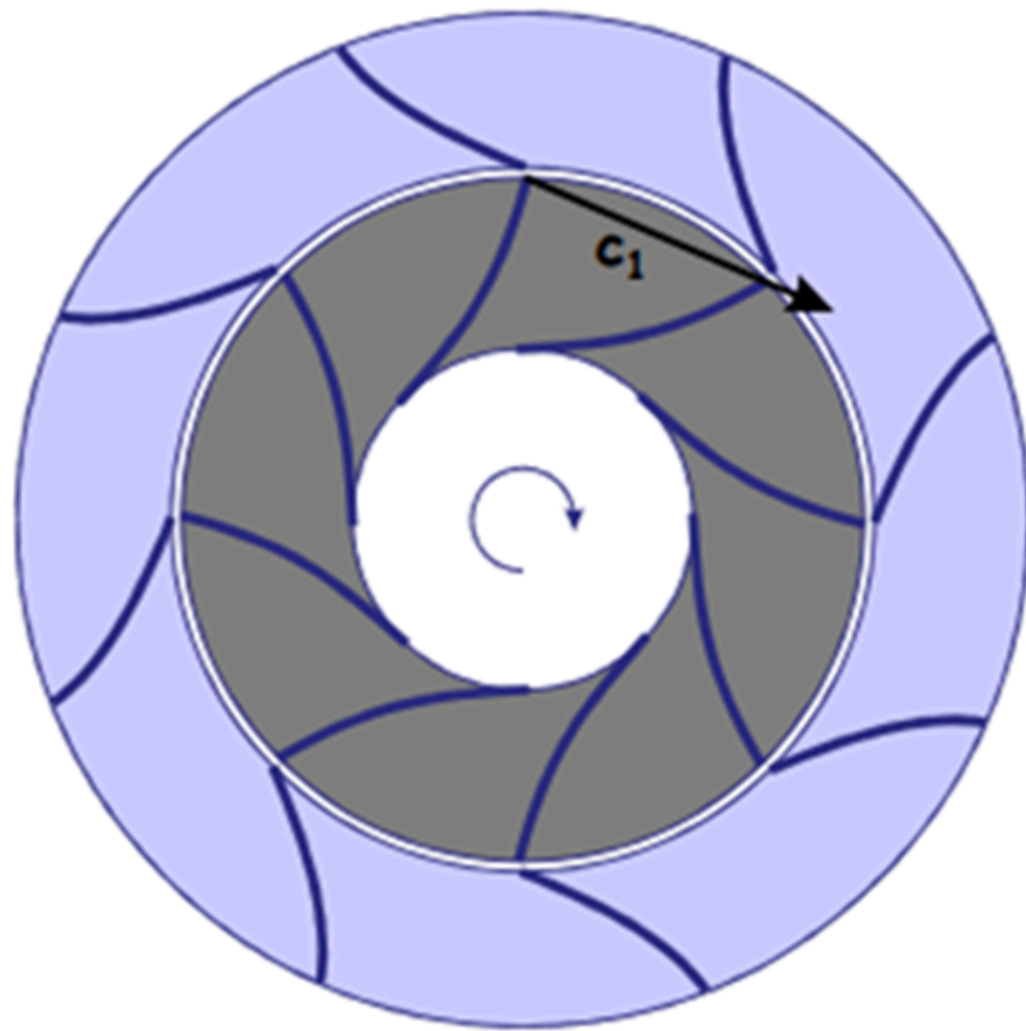
Aplicado al rodete de una turbomáquina, podemos considerar dos puntos:

1. Punto de entrada del fluido al rodete.
2. Punto de salida del fluido del rodete.



# Triángulos de velocidades

En el rodete la dirección de la velocidad absoluta de entrada del fluido ( $c_1$ ) vendría normalmente dada por la presencia de un distribuidor.



Sobre el rodete de entrada pueden plantearse las ecuaciones vistas:

$$\vec{c}_1 = \vec{w}_1 + \vec{u}_1 \quad \vec{u}_1 = \vec{\omega} \cdot \vec{r}_1$$

Donde la posición radial corresponde a la distancia de la sección de entrada al eje del rodete.

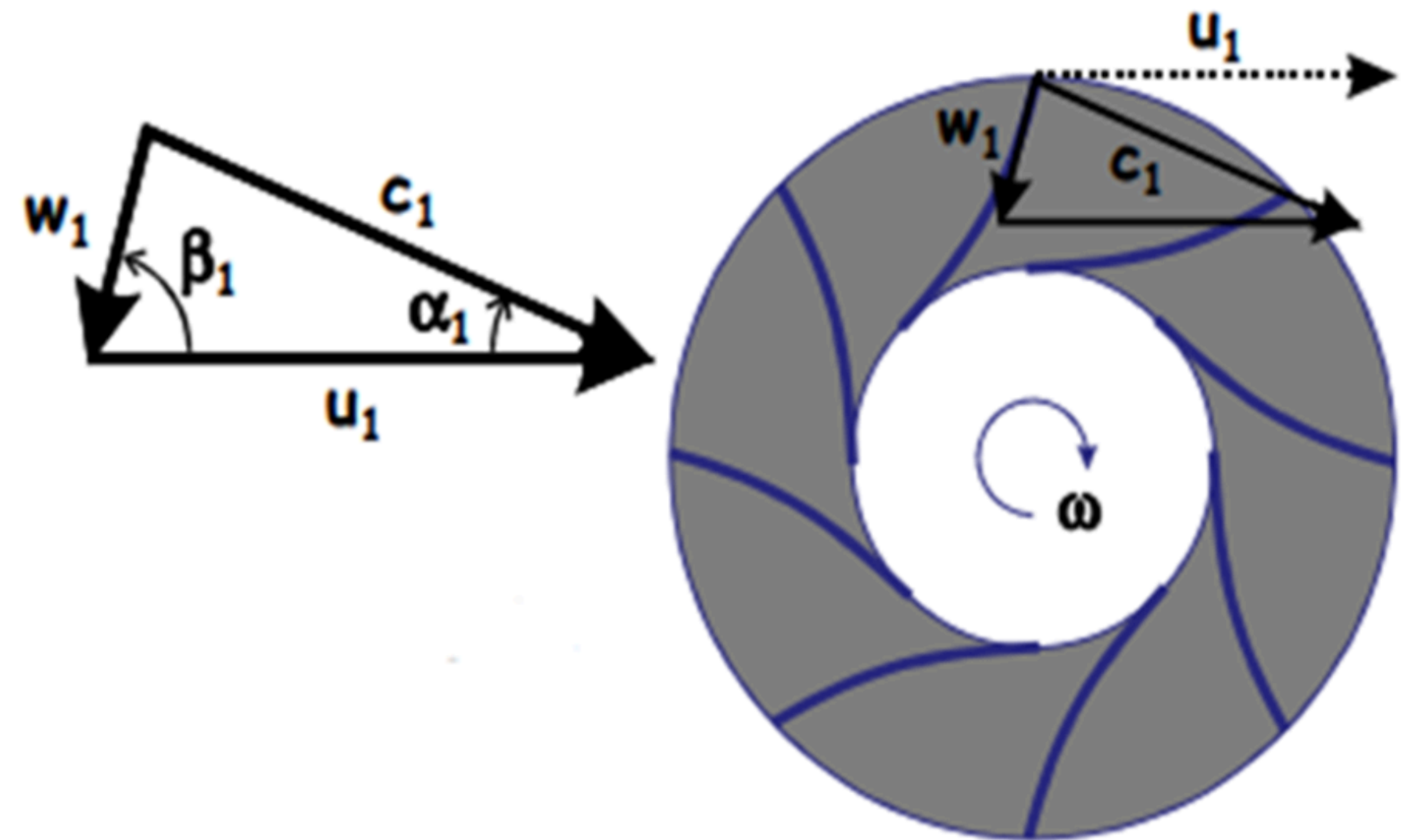


# Triángulos de velocidades

En la siguiente figura puede observarse cómo quedaría el **triángulo de entrada al rodete**.

Sobre este triángulo, se definen dos ángulos:

- $\alpha_1$ : formado entre los vectores  $C_1$  y  $u_1$ .
- $\beta_1$ : formado entre los vectores  $w_1$  y  $u_1$ .



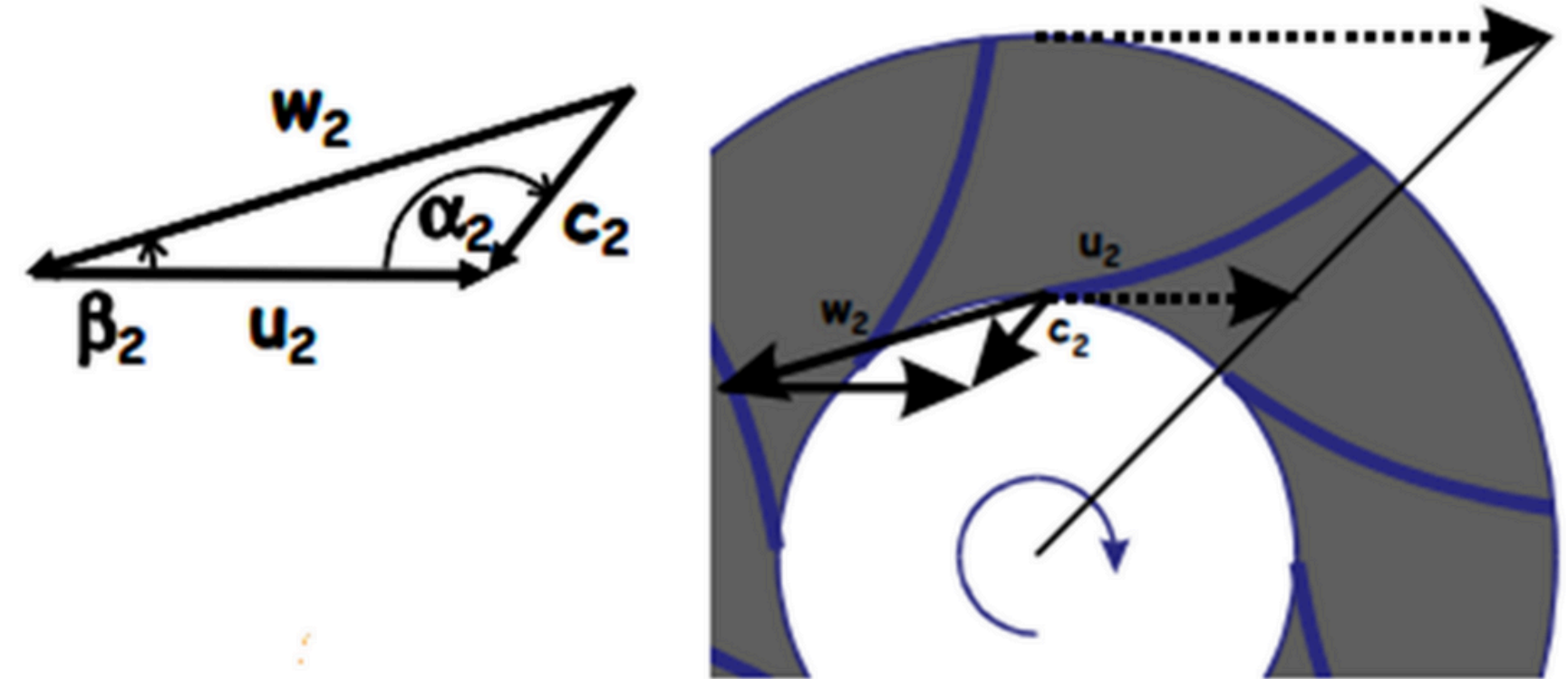
# Triángulos de velocidades

En la siguiente figura puede observarse cómo quedaría el **triángulo de salida del rodete**.

Sobre este triángulo, se definen dos ángulos:

- $\alpha_2$ : formado entre los vectores  $C_2$  y  $u_2$ .
- $\beta_2$ : formado entre los vectores  $w_2$  y  $u_2$ .

Relación entre velocidades  
Igual a relación entre radios



$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

# Ecuación de Euler

## 10.2

Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA

$$H = \frac{c_1 \cdot u_1 \cos \alpha_1 - c_2 \cdot u_2 \cos \alpha_2}{g}$$



# Ecuación de Euler

La **ecuación de Euler** se deduce a partir de la **segunda Ley de Newton**. En el caso de turbomáquinas, se puede escribir en unidades de altura de fluido como:

$$H = \frac{c_1 \cdot u_1 \cos \alpha_1 - c_2 \cdot u_2 \cos \alpha_2}{g}$$

Dado que interesa que el trabajo realizado por unidad de masa de fluido sobre el rodete sea el máximo posible, se puede deducir por qué las turbinas se diseñan normalmente como centrípetas, con mayor distancia radial de la sección de entrada que de salida

Se busca en el punto de diseño que  $U_2$  sea cero. lo menor posible, para que toda la energía cinética se transfiera en rotación de la turbina

A la entrada el radio es mayor!

# 11

# CAVITACIÓN

**Aprovechamientos Hidráulicos - 2025**



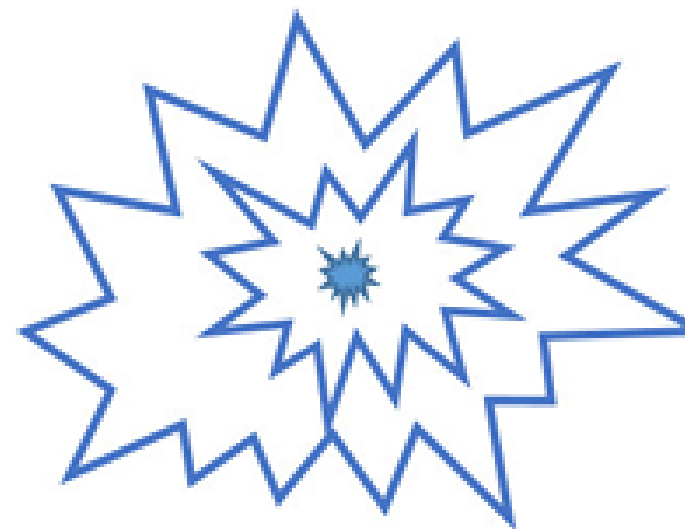
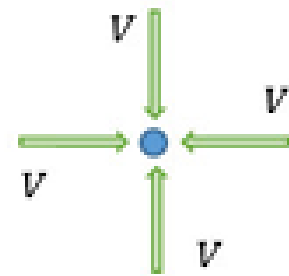
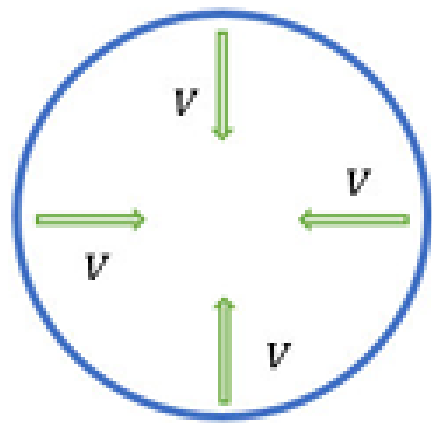
**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

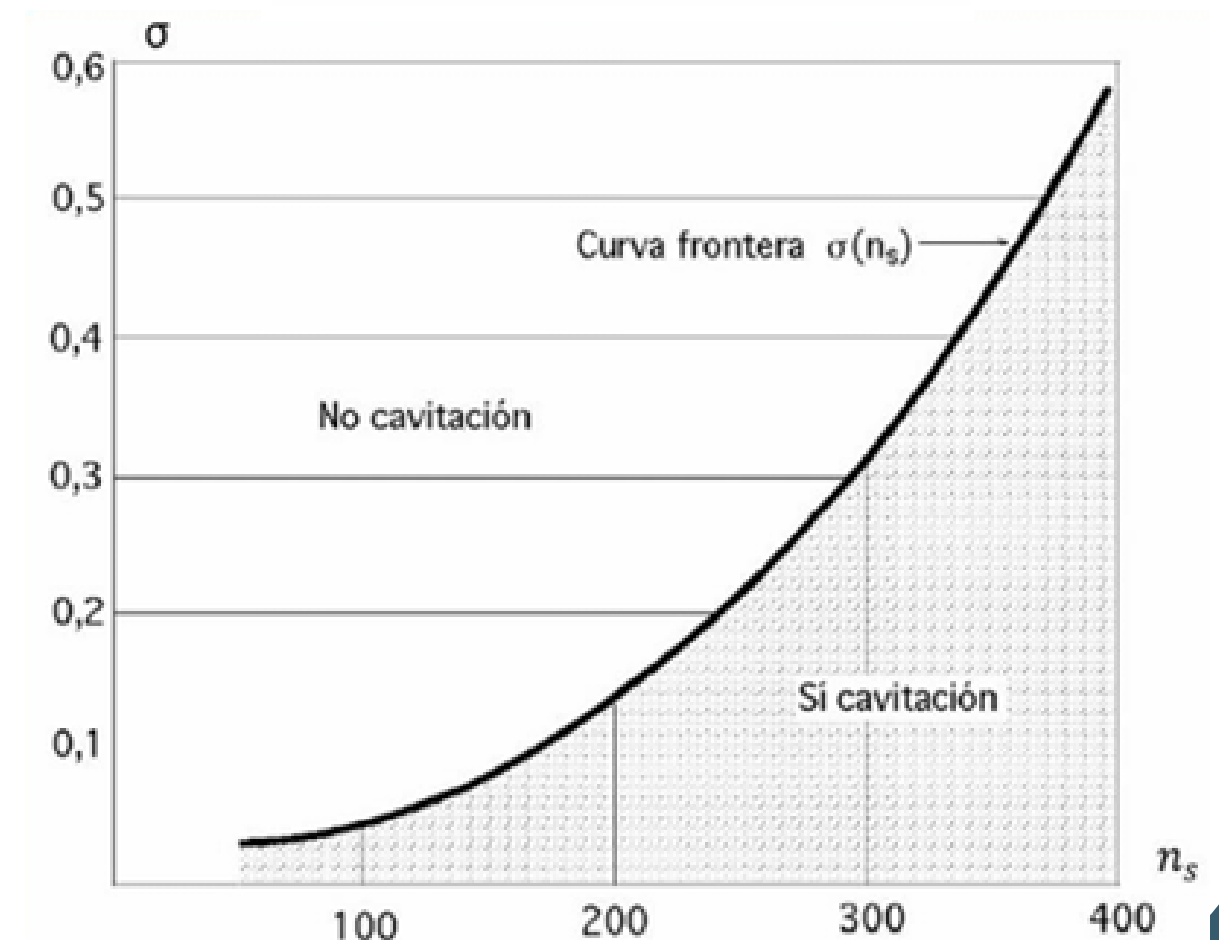
# Cavitación

La cavitación en máquinas hidráulicas es el resultado de una reducción en la presión del líquido cuando se acelera al trasladarse a lo largo de superficies curvas. Básicamente, la cavitación se produce debido a la formación de burbujas de vapor en un líquido y su posterior implosión.



- Burbujas de 6.35mm (0.25 pulgadas) de diámetro
- Duración de 3 milisegundos
- Velocidad de colapso de 839.42 km/h
- Presiones de hasta 3518.29 Kg-f/cm<sup>2</sup>

$$\sigma = \frac{H_a - H_v - H_s}{H_n}$$





# Cavitación

Energéticamente, hay una **transformación de energía cinética en energía de presión**. Mientras hay existencia de la burbuja tenemos energía cinética, pero al desaparecer el área también lo hace la velocidad, en este caso toda la energía se convirtió en energía de presión.

Además la presión generada en las ondas tiene altísimos valores ya que:

$$P = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}} \text{ entonces tendríamos: } P = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área} \rightarrow 0} = \infty$$

# Cavitación

Sus efectos pueden resumirse en tres aspectos:

- **EFFECTO MECÁNICO:** desprendimiento del metal, ocasionando un desgaste que acorta la vida de la turbina.
- **EFFECTO QUÍMICO:** las altísimas presiones originan localmente la liberación de iones de oxígeno, que atacan a las superficies metálicas expuestas.
- **EFFECTO HIDRÁULICO:** la presencia de las burbujas sobre los álabes impide que el agua moje esta zona y en consecuencia la energía no se transfiere.

# Cavitación: Beneficio forma TD

- Función aspiradora: Genera una depresión (presión inferior a la atmosférica) a la salida del rodete, permitiendo elevar el eje de la turbina por encima del nivel de agua de descarga sin interrumpir el flujo.
- Función difusora: Posee una geometría troncocónica o ensanchada que provoca una reducción progresiva de la velocidad del flujo al avanzar por el tubo, recuperando energía de presión.

El diseño del tubo de aspiración debe buscar un **equilibrio entre máxima recuperación de energía y mínimo riesgo de cavitación.**

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre la salida del rodete y el nivel de descarga:

$$\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} - h_s = \frac{p_{atm}}{\gamma}$$



# Erosión por Cavitación y Abrasión



Abrasión



Cavitación

# Reacondicionamiento de los álabes

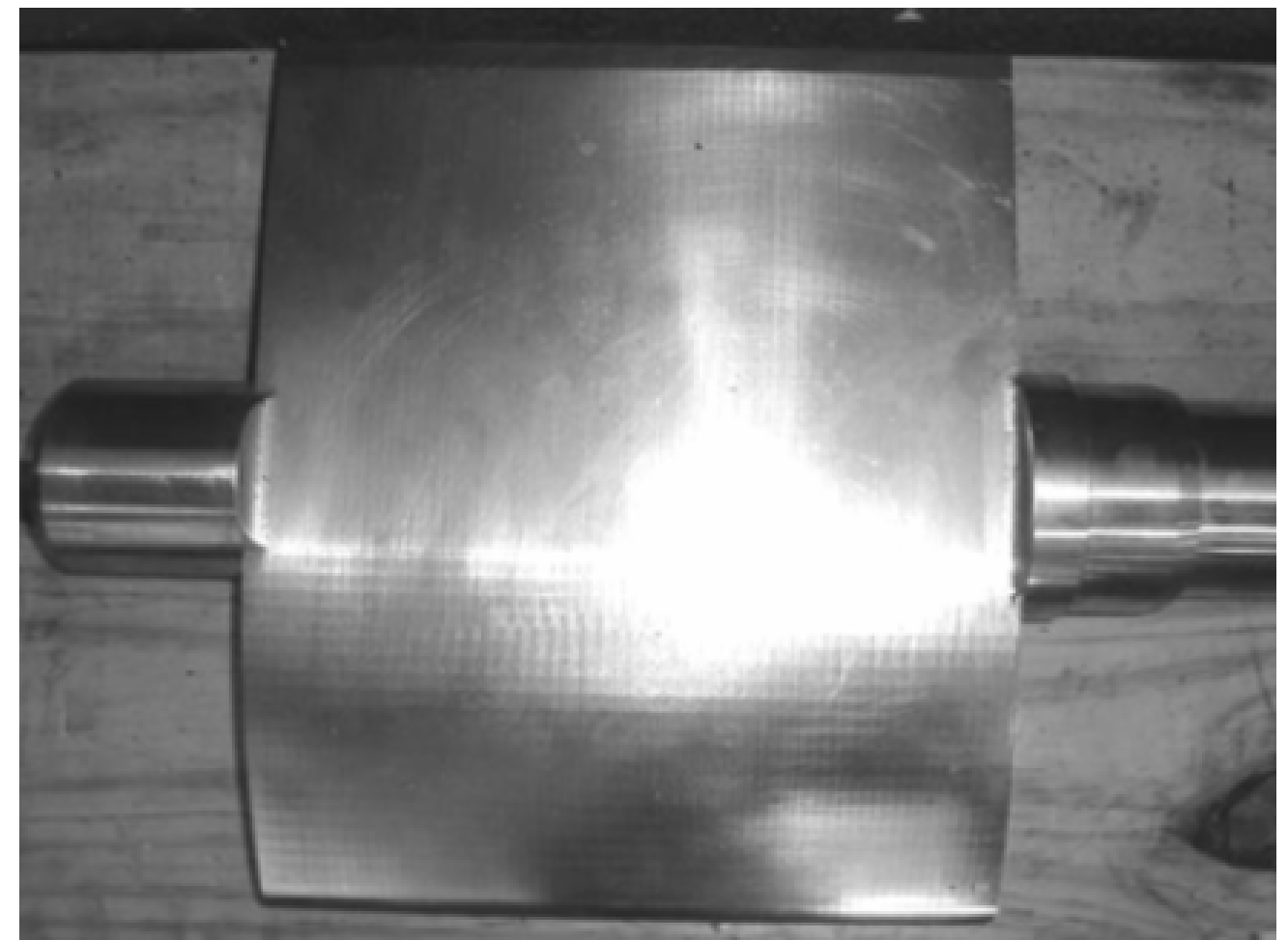
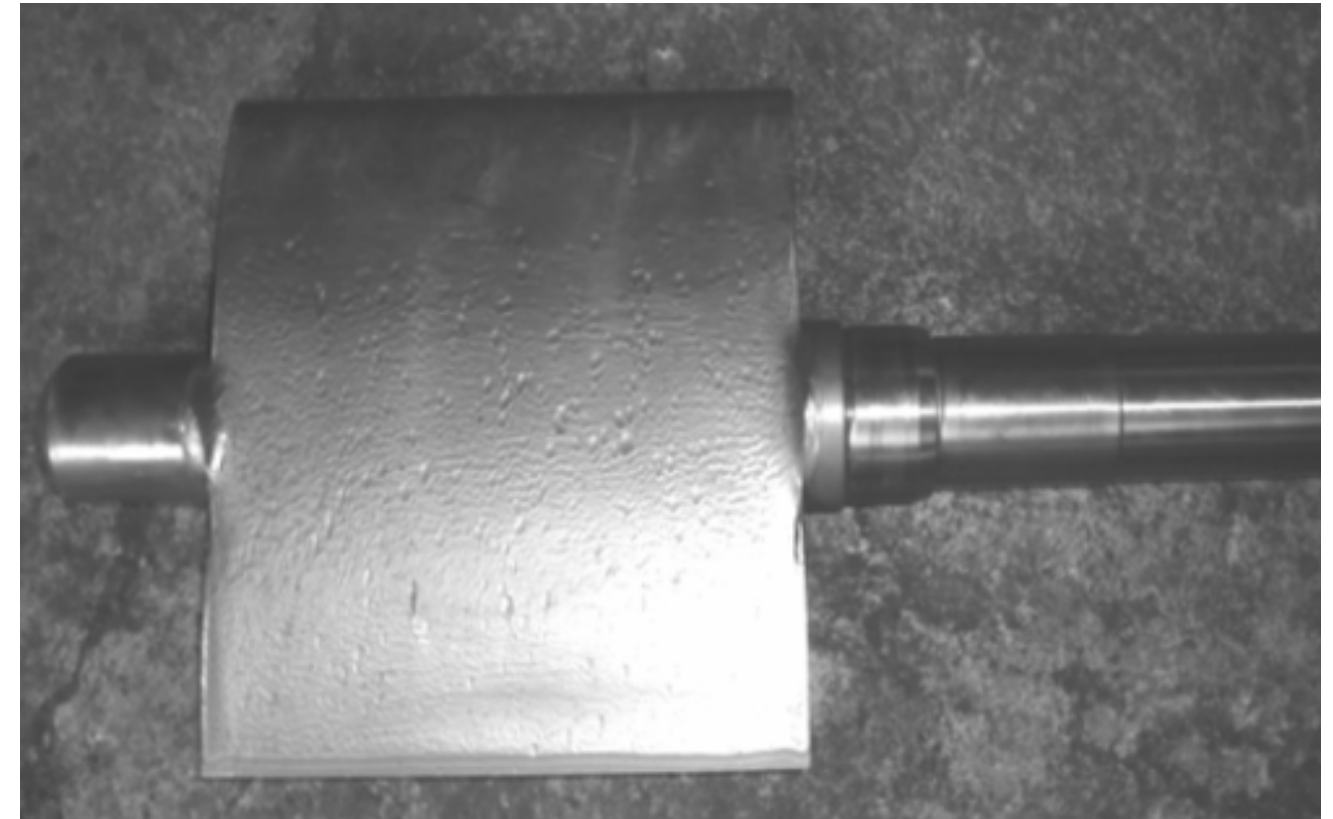
**Aprovechamientos  
Hidráulicos - 2025**



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

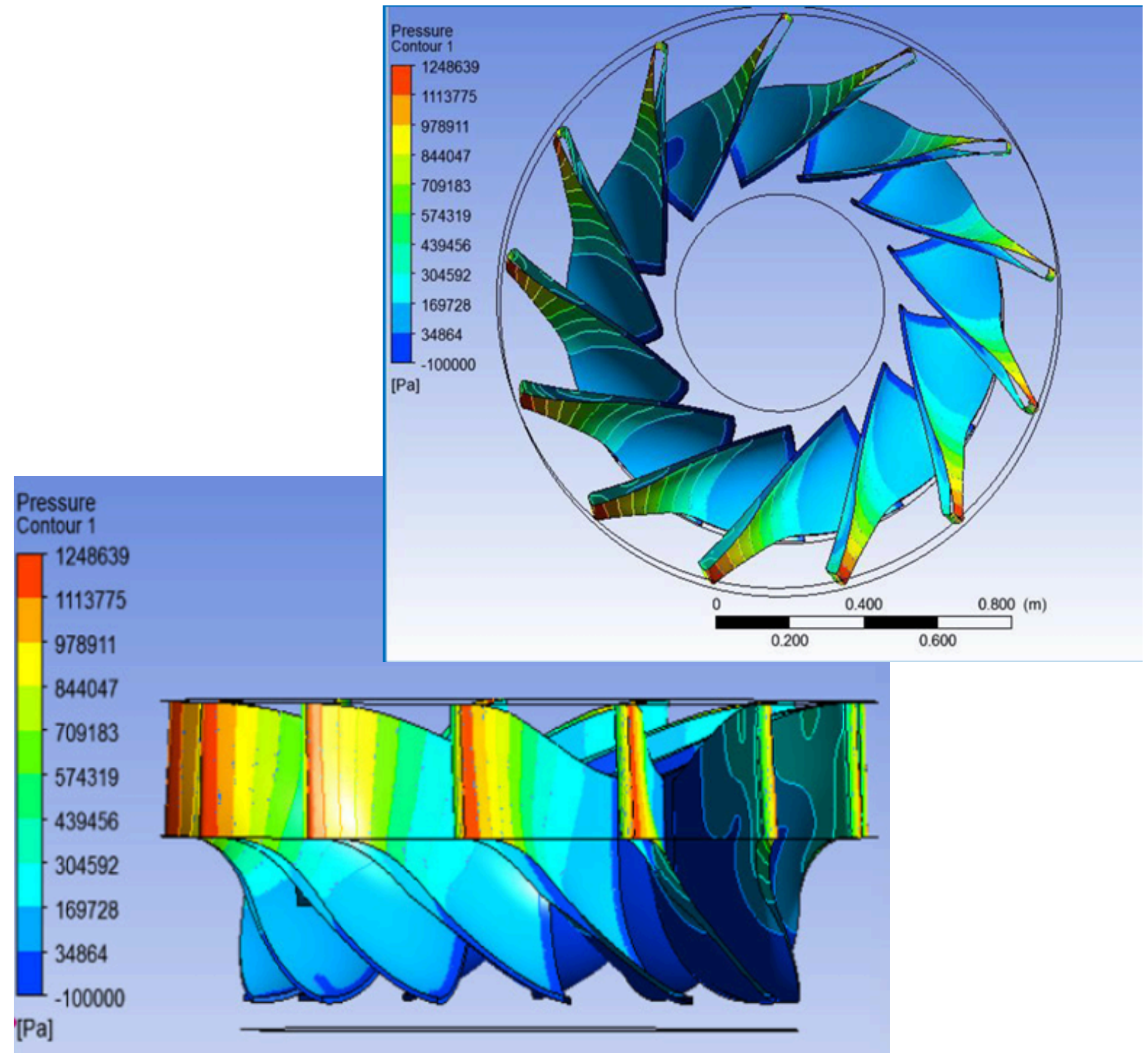


**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**



# Procedimiento

1. Inspección visual
2. Chequeo con plantillas
3. Desgaste de superficies
4. Limpieza con chorro de arena
5. Colocación de material de aporte
6. Soldadura
7. Tratamiento térmico
8. Pulido
9. Comparación con plantillas
10. Verificación con planos
11. Balance estático







Uso de plantillas



Soldado



Balance estático



# 12

# MANTENIMIENTO DE TURBINAS BASADO EN CONDICIÓN

Aprovechamientos Hidráulicos - 2025



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD  
DE INGENIERÍA

# CBM

Es una estrategia de mantenimiento proactivo que utiliza la monitorización en tiempo real de parámetros y condiciones operativas para determinar el estado de salud de un activo.

**1**

**Monitorización**

**2**

**Análisis de  
datos**

**3**

**Diagnóstico,  
modelos y  
optimización**

# CBM

Se cambia la pregunta fundamental de "¿Cuándo fue la última vez que revisamos la turbina?" a "¿Cuál es el estado de salud de la turbina ahora mismo?"

**1**

## **Monitorización**

- **Análisis de vibraciones**
- **Análisis de aceite**
- **Emisiones acústicas**
- **Termografía**
- **Parámetros operativos**

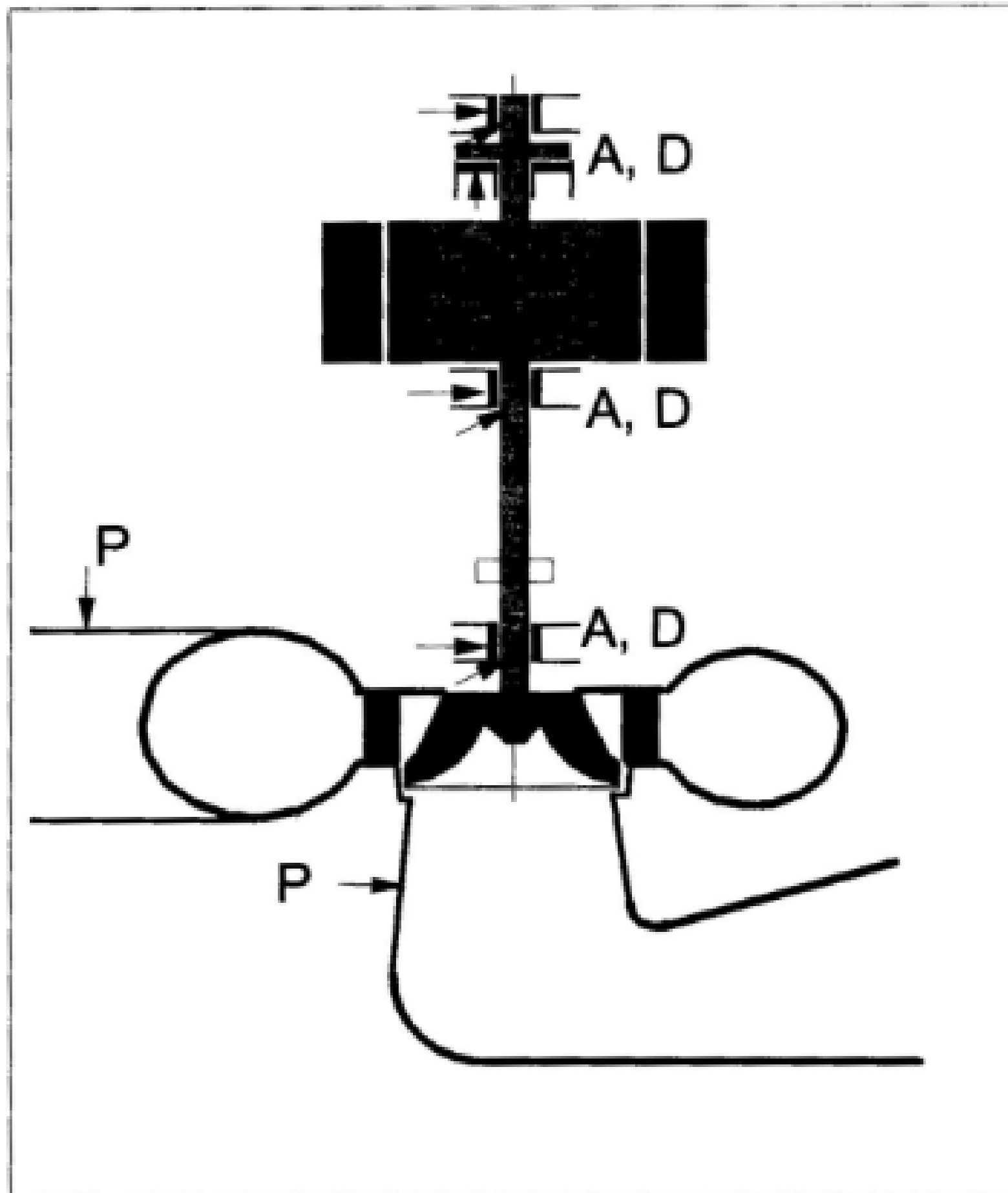


**Análisis de vibraciones :** Es la técnica más poderosa y fundamental para maquinaria rotativa. Se instalan acelerómetros en puntos estratégicos, como los cojinetes, para medir las micro-vibraciones. Cada problema mecánico—desequilibrio, desalineación, daños en rodamientos, holguras, e incluso la cavitación—genera una "firma" de vibración única y detectable.

**Los principales parámetros dinámicos a analizar desde el punto de vista vibratorio son los siguientes:**

- **Vibración absoluta en la estructura**
- **Vibración eje-cojinete**
- **Pulsaciones de presión**
- **Señal de fase**

## PUNTOS DE MEDICIÓN



1.Análisis de aceite :

- Se toman muestras periódicas del aceite lubricante. Su análisis en laboratorio revela la presencia de partículas metálicas, indicando qué componente interno se está desgastando, así como la degradación de las propiedades del lubricante o la contaminación con agua.

2.Emisiones acústicas

- Sensores de alta frecuencia son capaces de detectar eventos de alta energía y baja amplitud, como el colapso de las burbujas de cavitación o el inicio y la propagación de microfisuras en el rodete, mucho antes de que sean detectables por otros medios.

3.Termografía

- Cámaras infrarrojas monitorizan el perfil térmico de la máquina, detectando puntos calientes anormales en cojinetes, conexiones eléctricas o el generador, que son claros indicadores de fricción excesiva o problemas eléctricos.

4.Parámetros Operativos

- Se aprovechan los datos ya existentes en el sistema de control (presión, caudal, potencia, temperatura del agua, apertura de álabes) para contextualizar las lecturas de los otros sensores.

# CBM

Se cambia la pregunta fundamental de "¿Cuándo fue la última vez que revisamos la turbina?" a "¿Cuál es el estado de salud de la turbina ahora mismo?"



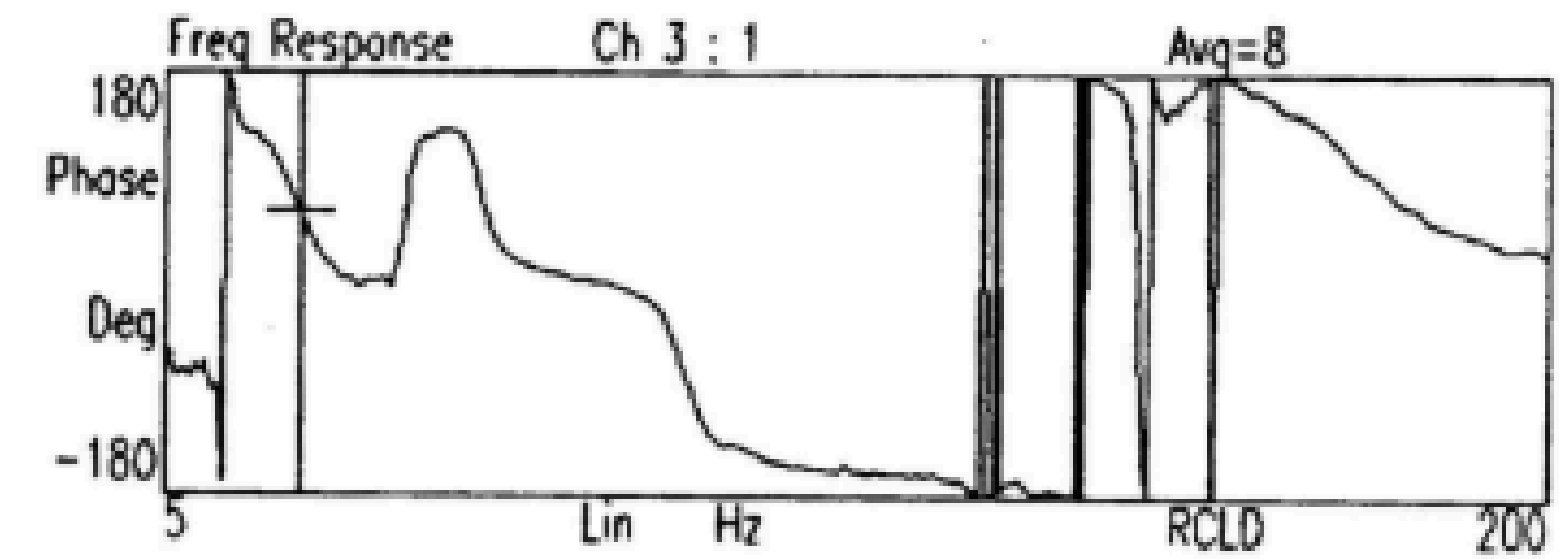
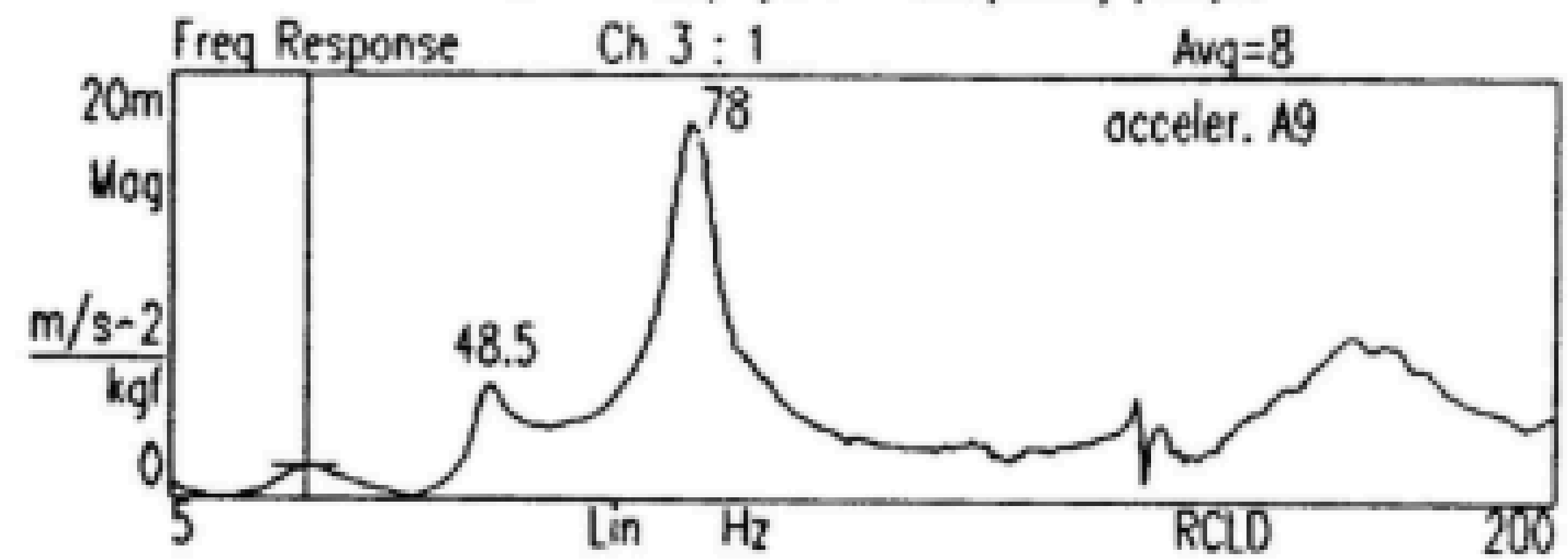
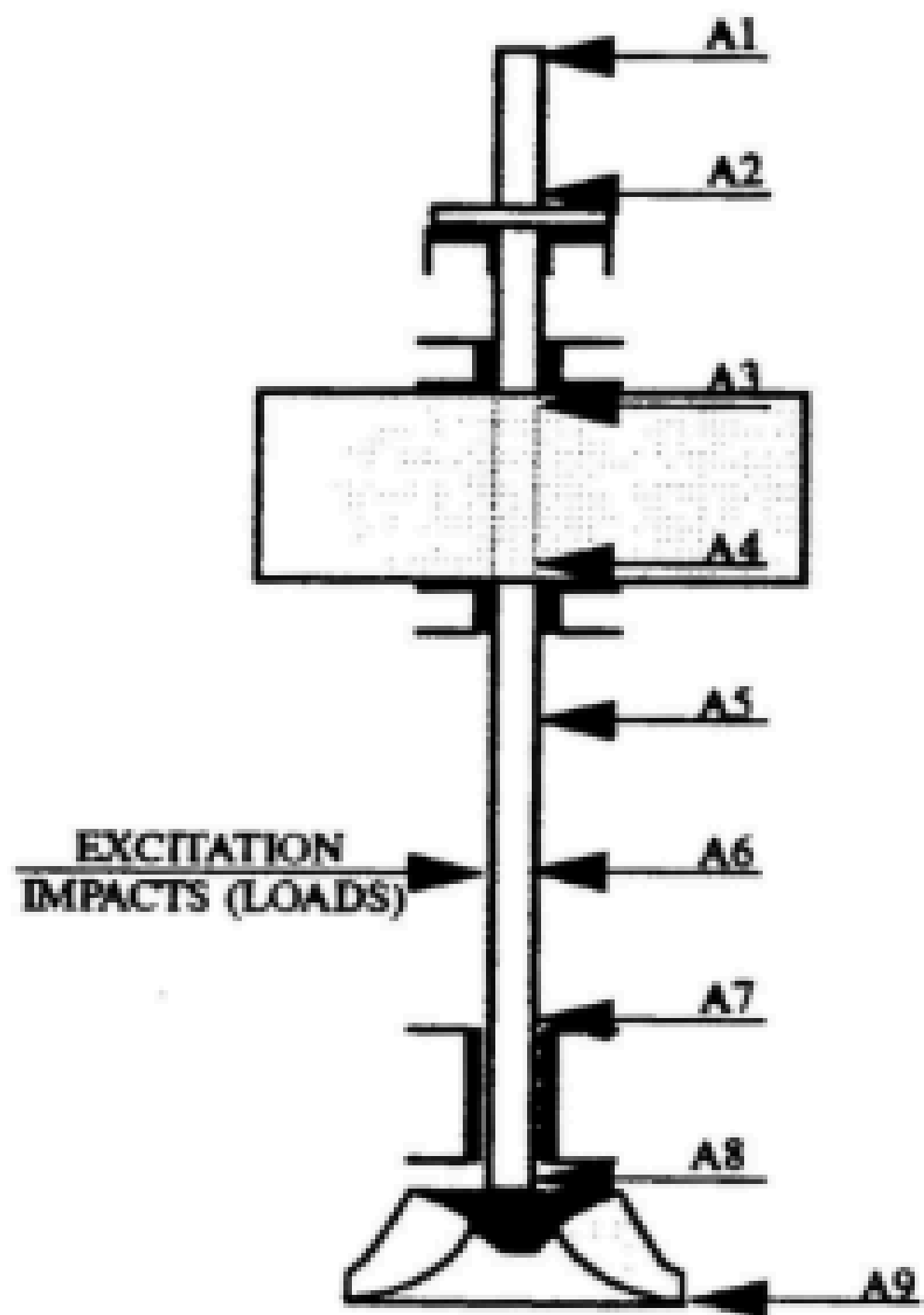
## 2 Análisis de datos

- Modelos
- Análisis acústicos
  - Cavitación
  - Sirga de torbellino
  - Partículas sólidas
  - Emisión acústica por daño estructural

**“Toda turbina hidráulica en operación genera un espectro acústico de fondo, considerado su estado de normalidad”**

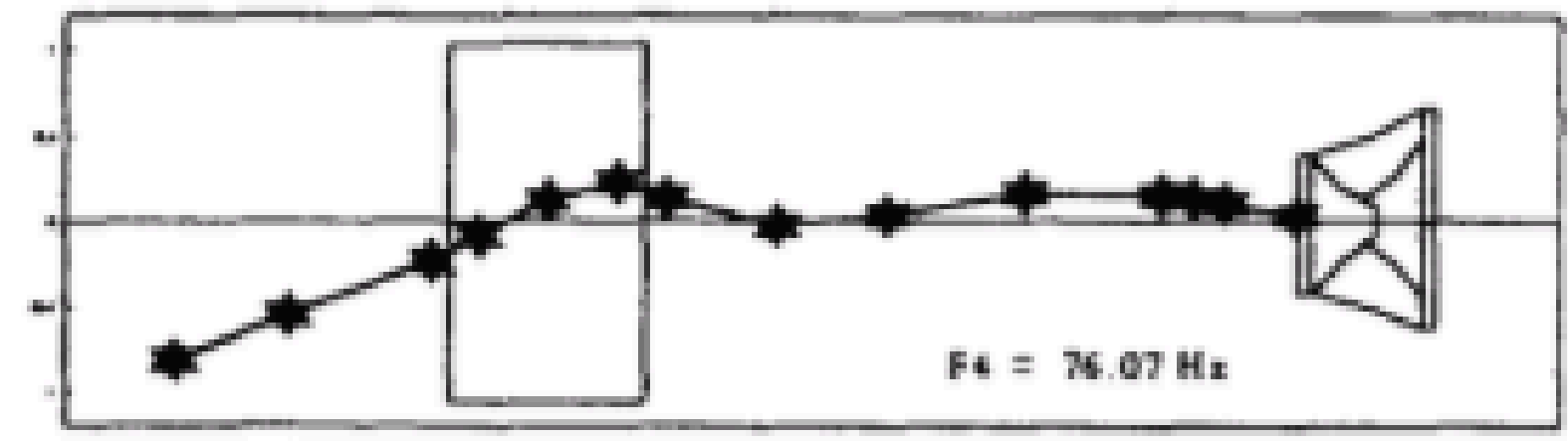
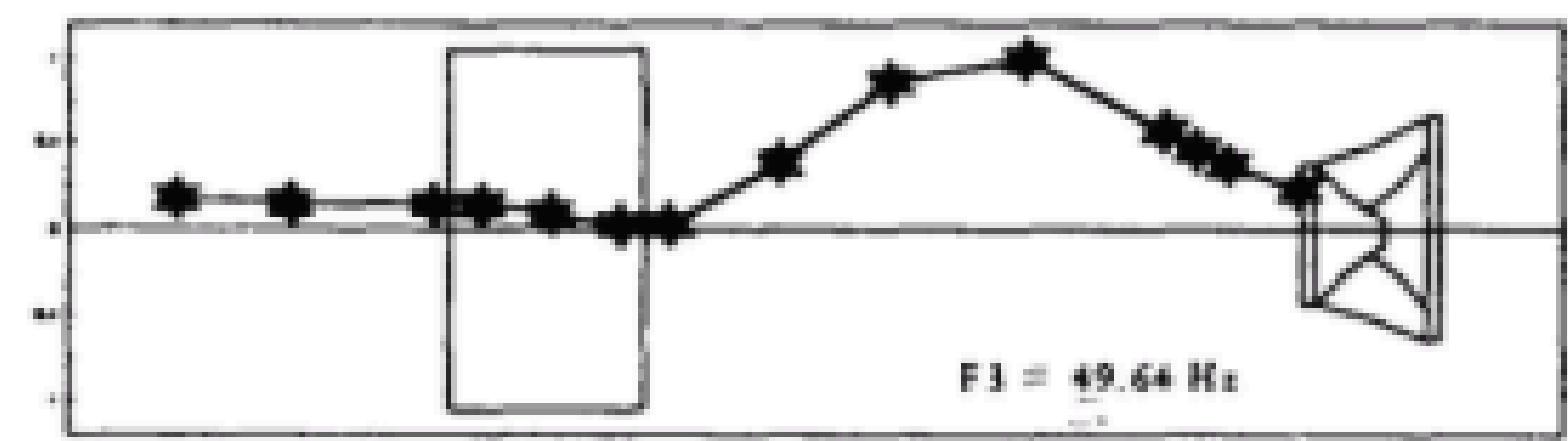
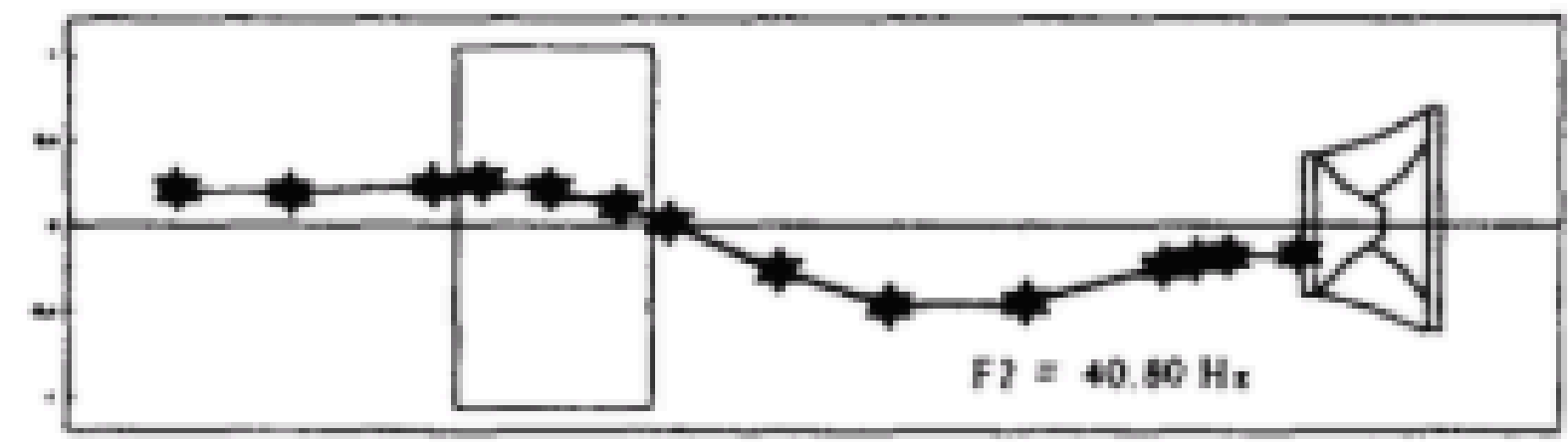
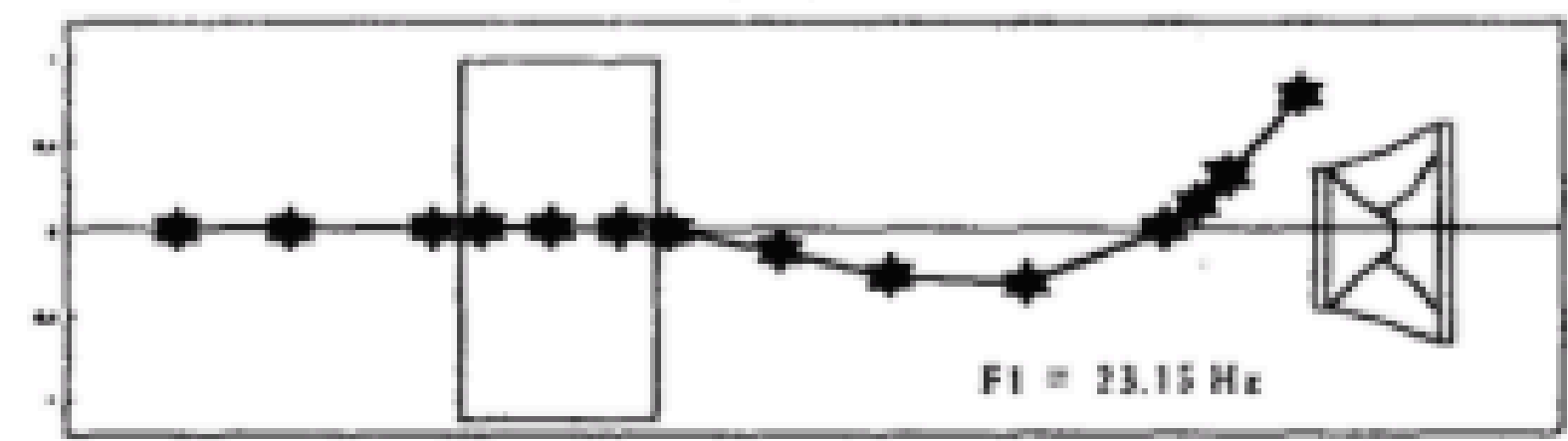
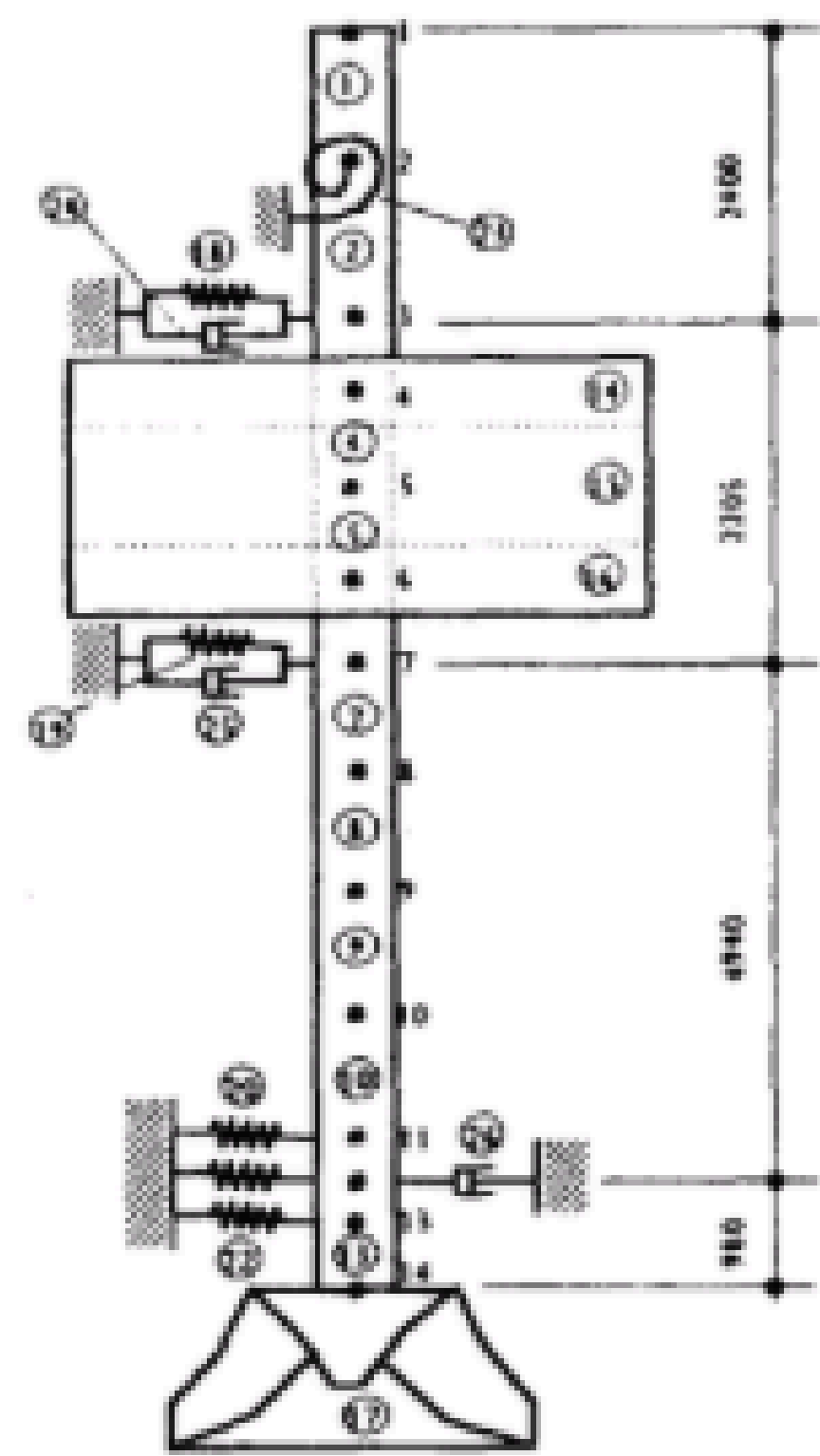


GR 1 - 23/1/94 - EXC(X1A4) . A1 A9



X:24Hz Y:1.481m  
X:24Hz Y:61.5107Deg

# GR 1 - VIBRATIONS MODES



# CBM

Se cambia la pregunta fundamental de "¿Cuándo fue la última vez que revisamos la turbina?" a "¿Cuál es el estado de salud de la turbina ahora mismo?"



**3**  
**Diagnóstico,  
modelos y  
optimización**

**Entrenamiento del modelo para análisis en tiempo real y muestra de acciones de mantenimiento concretas**

# CBM: Beneficios

- **Maximización de la disponibilidad:** Se reduce drásticamente el tiempo de inactividad no planificado.
- **Reducción de costos:** Se eliminan los gastos de reparaciones de emergencia y se optimiza la compra de repuestos y la mano de obra.
- **Extensión de la vida útil del activo:** Corregir fallos en su etapa incipiente previene el desgaste acelerado y prolonga la vida operativa de la turbina.
- **Mejora de la Seguridad:** Se evitan fallos catastróficos que pueden poner en riesgo al personal y al medio ambiente.



# MUCHAS GRACIAS!

**Aprovechamientos Hidráulicos - 2025**



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**