



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY

# MAESTRÍA EN **INGENIERÍA DE LA ENERGÍA**

## Fundamentos de Generación Hidroeléctrica

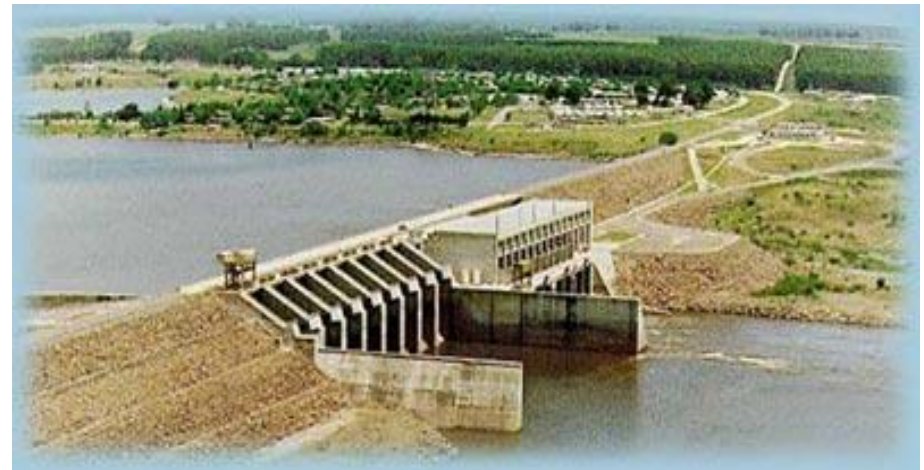
# Aprovechamientos hidroeléctricos en Uruguay

*Ing. Daniel Schenzer*

*MSc Ing. Rodolfo Pienika*

**IMFIA – Facultad de Ingeniería**

[rpienika@fing.edu.uy](mailto:rpienika@fing.edu.uy)



# ¿ en Uruguay ?

- Características principales
- Situación actual
- Posibilidades futuras
- Tecnologías adecuadas

# ¿ en Uruguay ?

## Características principales:

- Bajos saltos disponibles
- abundancia de ríos, algunos de grandes caudales
- accesibilidad de todo el territorio
- red eléctrica interconectada en casi todo el territorio



# ¿ en Uruguay ?

- Grandes Centrales Hidroeléctricas : 4
- Pequeñas centrales hidroeléctricas : 0
- Mini centrales hidroeléctricas : 0
- Micro y pico centrales hidroeléctricas: algunas,  
aisladas

# ¿ en Uruguay ?

## 3 centrales Kaplan de UTE:

Rincón del Bonete (1945)      4 x 38 = 152 MW

Baygorria (1960)              3 x 36 = 108 MW

Palmar (1982)                 3 x 111 = 333 MW

## 1 Central Kaplan Binacional:

Salto Grande (1979)              7 x 135 = 945 MW  
(parte uruguaya)

### Para comparar:

Yaciretá (Paraguay-Arg.): 20 x 138 = 2.760 MW, H = 21,3 m (1994)

Grand Coulee (EEUU):              6.480 MW, H = 86,9 m (1942)

Guri (Venezuela) :                  10.235 MW, H = 146 m (1978)

Itaipú (Paraguay-Brasil): 18x715 MW = 12.800 MW, H = 113 m (1984)

Three Gorges (China) : 26x700 MW = 22.500 MW , H = 80,6m (2003)

# ENERGÍA PRODUCIDA

Potencialmente:

1538 MW x 330 días x 24 hs/día = 12.200 GWh por año

Es mucho menos:

Producción de hidroeléctricas y consumos nacionales:

Año	1990	04	08	12	15	16	17
Producción energía hidroeléctrica (GWh)	7008	4762	4396	5159	7709	7454	7144
Consumo energía eléctrica (GWh)	3805	6305	7114	8224	8513	8904	8559

Factor de capacidad hidroeléctrico medio : 0,37 ÷ 0,77

# Conclusiones:

La posibilidad de cubrir el consumo es muy sensible al régimen pluviométrico (hidraulicidad)

En el mediano plazo:

**LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS NO SON  
UNA FUENTE DE ENERGÍA FIRME**

(firme: disponibilidad en cualquier momento)

# ¿cómo disponer de energía hidroeléctrica más firme?

- multiplicar número de hidroeléctricas (aprovechar varios regímenes hidrológicos: limitado en Uruguay)
- operar instalaciones existentes en amplios intervalos de salto : alcance limitado
- aumentar capacidad de reserva (nivel de embalses): costos e impactos



# POSIBILIDADES DE EXPANSIÓN

- Río Uruguay
- Otros ríos
  - Río Negro
  - Ríos menores
- Centrales de acumulación



# POSIBILIDADES DE EXPANSIÓN

## Río Uruguay :

- Repotenciar turbinas de Salto Grande
- Agregar equipos en Salto Grande
- Elevar cota embalse Salto Grande
- Nueva Central de pasada aguas abajo de Salto Grande

# Río Uruguay: Repotenciar turbinas de Salto Grande

Reemplazar los rotores por otros de diseño mejorado (adelantos tecnológicos, condiciones de operación actuales)

- Incremento de potencia nominal: 11 %
- Incremento de generación posible: 240 GWh  
anual

# Río Uruguay: nuevos equipos en S.Grande

Agregar turbinas para generar cuando hay agua en exceso (hoy se vierte)

- Turbinas bulbo en descargadores de fondo
- Potencia instalada adicional : ~ 210 MW
- Energía adicional estimada: ~ 220 GWh por año

# Río Uruguay: nuevos equipos en S.Grande

## Ventajas:

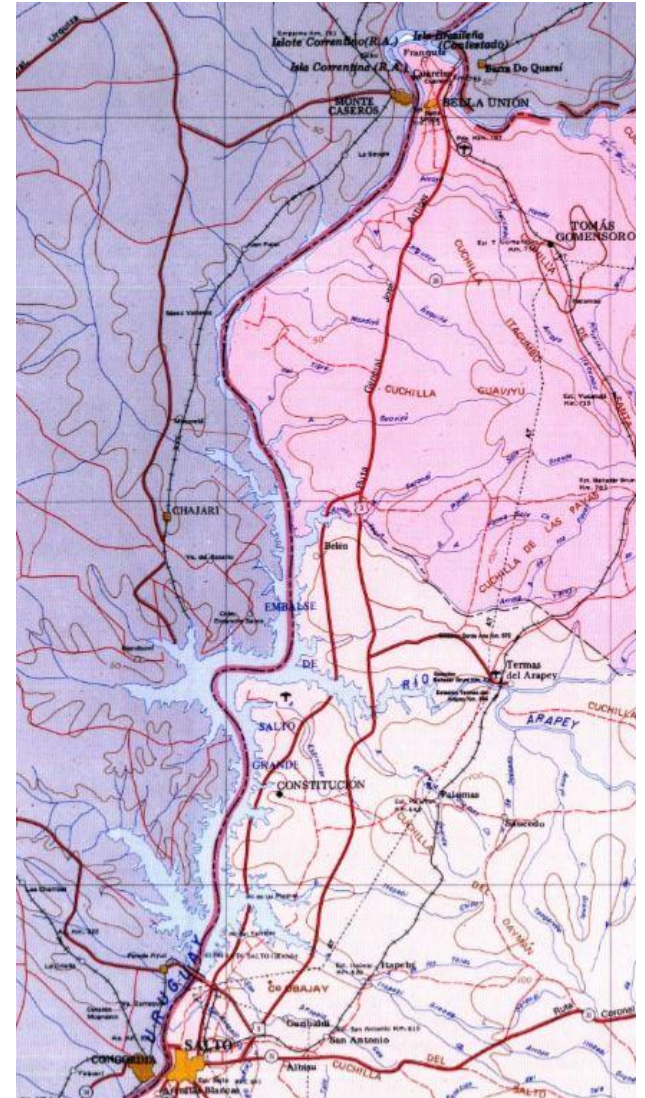
- Impacto ambiental adicional nulo
- Mínima obra requerida
- Costos de operación adicionales nulos
- Permite generar cuando hay agua en exceso (actualmente ésta se desperdicia)
- Permite generar cuando, al verter, las turbinas principales pierden salto

# Río Uruguay : aumentar cota Salto Grande

Subir 1 m el nivel del embalse, a cota 36

## Ventajas:

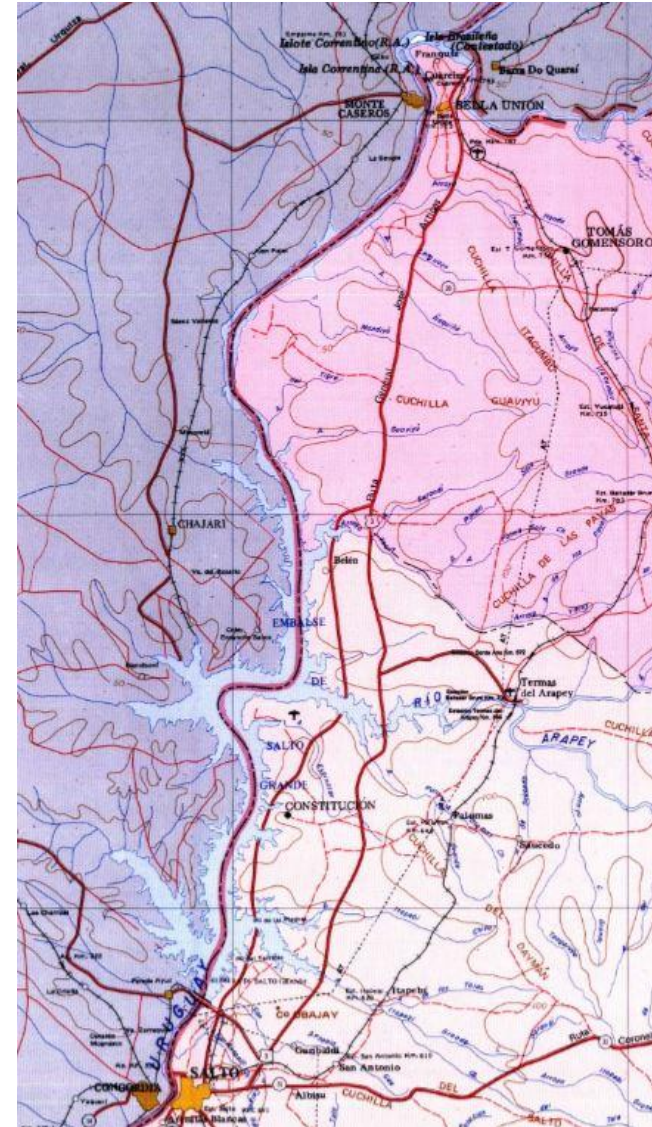
- Aumento de producción: 320 GWh por año
- Mayor disponibilidad de potencia
- Aumento de reserva energética (0,75 km<sup>3</sup>)
- Mayor control de crecidas
- Mayor navegabilidad en el embalse



# Río Uruguay : aumentar cota Salto Grande

## Desventajas y costos:

- Inunda 7800 há.s. más (ambas márgenes) : expropiaciones
- Pérdida de playas en el embalse
- Aumenta impacto ambiental
- Afecta napas freáticas

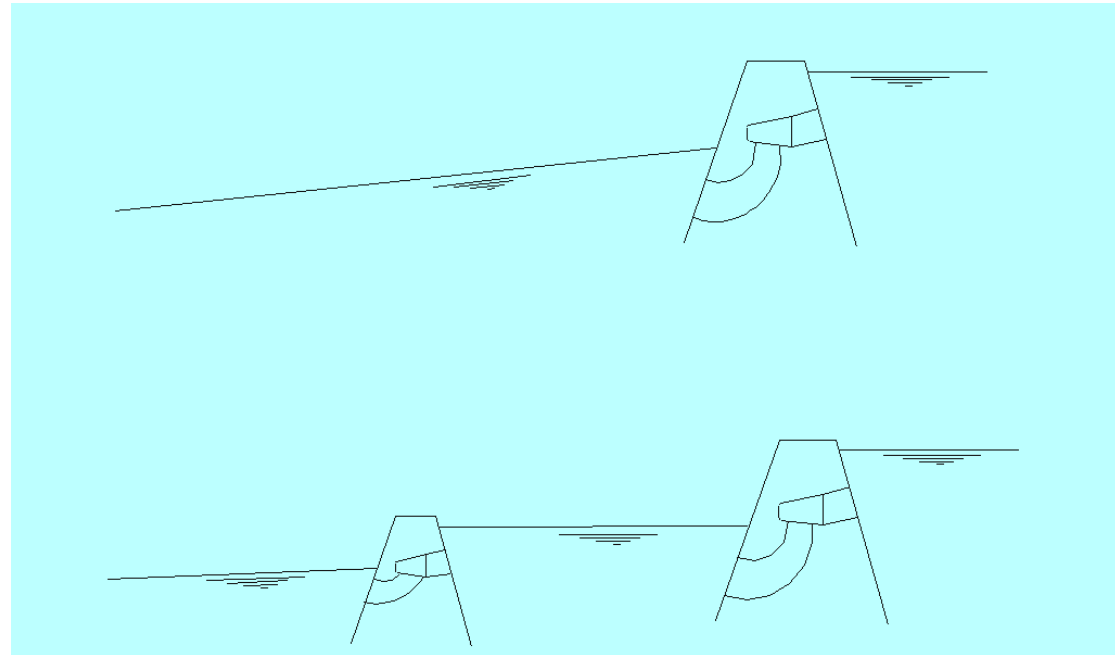


# Río Uruguay : Dique compensador

- Construir un dique aguas abajo de Salto Grande
- Instalar en él turbinas de bajo salto (bulbo, de distribuidor y palas fijas)
- Obras de transporte fluvial (esclusa)

- En Pepeají  
(km. 251 del río, 35 km al N.  
de Paysandú),  
Otra ubicación alternativa:  
km 275 del río

- Salto útil 4,75 m





# Río Uruguay : Dique compensador

## **Ventajas:**

- Potencia adicional disponible ~ 200 a 265 MW
- Generación adicional (neta) : ~850 GWh por año
- define salto más constante para Salto Grande (disminuye fluctuaciones)
- estabiliza costas entre S.G. y el dique
- mejora navegabilidad entre S.G. y el dique: calado mínimo 3 m en todos los pasos rocosos

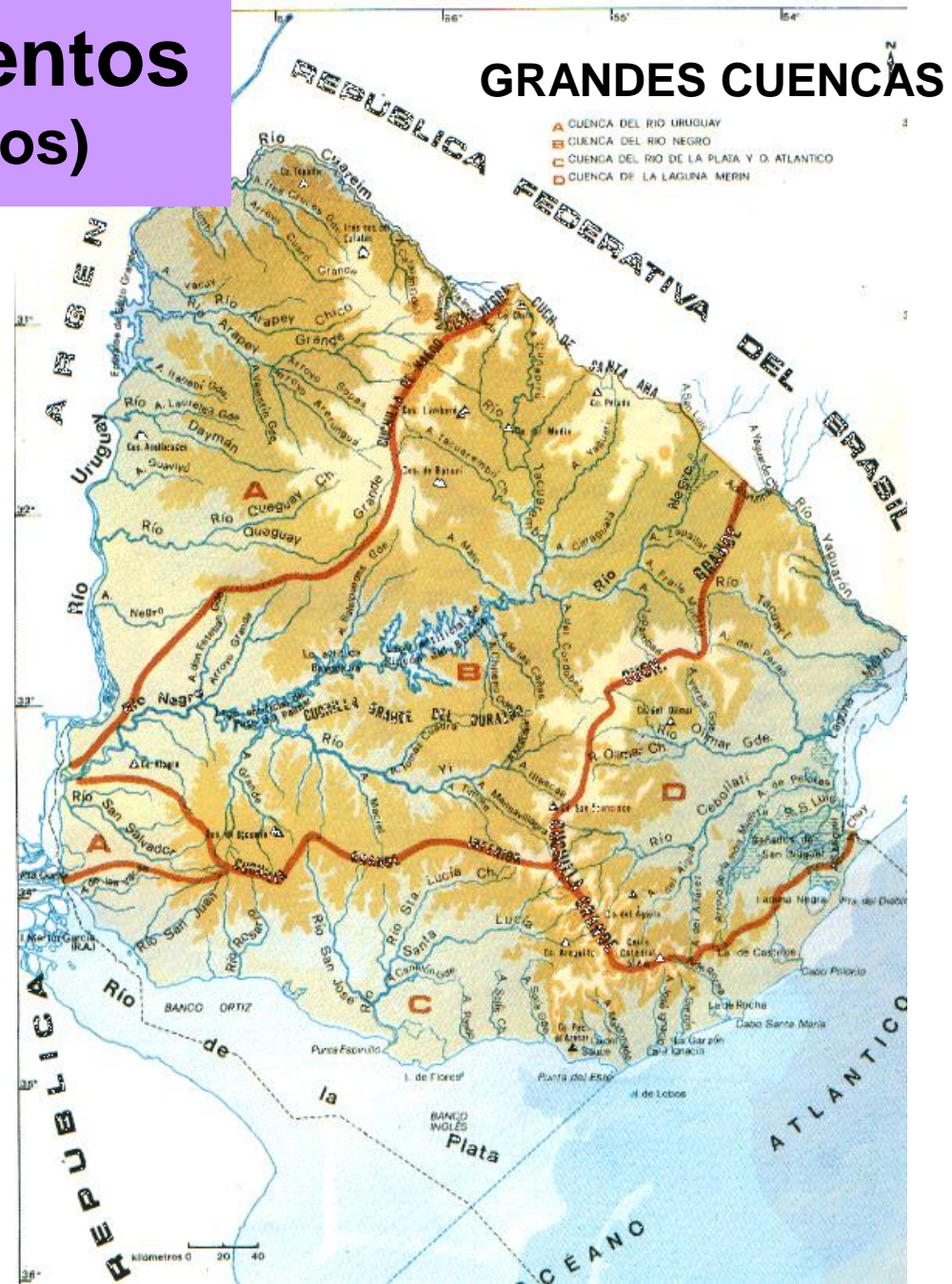
## **Desventajas:**

- Alto costo
- Resistencias de organizaciones sociales
- Gestión binacional

# Otros aprovechamientos (micro – mini – pequeños)

## Características

- Vasta red hidrográfica
- Pequeños saltos factibles (raramente más de 25 m)
- Ríos y arroyos de caudales fluctuantes
- Ausencia de saltos ⇒ necesidad de obras costosas
- Cercanías de ríos habitadas o explotadas ⇒ conflicto de usos
- Red eléctrica de MT bastante extendida



# Otros aprovechamientos (micro – mini – pequeños)

## Estudios generales:

- **Aprovechamientos para más de 10 MW :**  
Cons. Lahmeyer para UTE (1980, con actualizaciones)
- **Cursos de agua medianos**  
Ing. E. Sacco, para UTE, 1979 (sólo 4 lugares: Cuñapirú, Queguay, Cebollatí, Santa Lucía Chico)
- **Para más de 1 MW :**  
Facultad de Ingeniería para UTE (1993)  
Facultad de Ingeniería (IMFIA) – ANII-FSE (2013)
- **Embalses multipropósito:**  
Facultad de Ingeniería (IMFIA) – BID-MIEM/DNE-FJR (2013)

# PEQUEÑOS APROVECHAMIENTOS POSIBLES

(MÁS DE 10 MW)



# Río Negro

- Isla González
- Villa Darwin
- Paso Pereira
- Agregar otra máquina en Rincón del Bonete

## Río Negro : Villa Darwin

### Proyecto:

- a unos 30 km aguas abajo de Palmar
- casi sin represa, todo sala máquinas y vertedero
- embalse de 0,1 km<sup>3</sup> (de pasada)
- turbinas bulbo,  $H = 3,5\text{m} - 8,4\text{m}$
- potencia instalable: 70 MW

## Río Negro: Isla González

### Proyecto:

- represa de 1600 m, 33 m de altura
- con embalse de 7,1 km<sup>3</sup>
- turbinas Bulbo,  $H = 12,5\text{ m}$ ,
- potencia instalable: entre 80 y 160 MW

# Río Negro: Paso Pereyra

## Proyecto:

- unos 50 km aguas arriba Isla González
- represa de 640 m, 18,5 m de altura
- embalse de 1,83 km<sup>3</sup>
- turbinas bulbo,  $H = 12,5$  m
- potencia instalable: 21 a 35 MW

## Otros ríos : Yaguarón (binacional)

Paso	LONGITUD PRESA	VOLUMEN ÚTIL EMBALSE	TIPO DE TURBINA	SALTO BRUTO	POTENCIA TOTAL
	(m)	(km <sup>3</sup> )		(m)	(MW)
Centurión	680	1,2	Kaplan		32
Talavera	3000		Kaplan horiz. - S	12	21



# Otros ríos, más de 10 MW

RÍO	LONGITUD PRESA	VOLUMEN ÚTIL EMBALSE	TIPO DE TURBINA	SALTO BRUTO	POTENCIA TOTAL *
	(m)	(km <sup>3</sup> )		(m)	(MW)
YÍ	640	1,05	Kaplan	18	40 – 66
QUEGUAY	1570	0,59	Kaplan	22	28 – 46
ARAPEY	210	0,24	Bulbo	7	11 - 19
CUÑAPIRÚ	250		Francis	30	13 - 21
OLIMAR	250	0,67	Francis	25	11 - 18
CEBOLLATÍ	306	0,9	Francis	17	9 - 15

\* según factor de sobreequipamiento adoptado

# Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)

## IMFIA 2013:

Selección de sitios que presentan mejores condiciones para PCH (entre 1 MW y 50 MW).

(excluidos Rio Negro y binacionales)

## **Además:**

Factor de capacidad esperado  
(para estudio en 1ª aproximación)

# Factor de capacidad

## Definiciones :

$$\textit{Factor de capacidad: } FC = \frac{\textit{Energía generada}}{\textit{Máxima energía generable}}$$

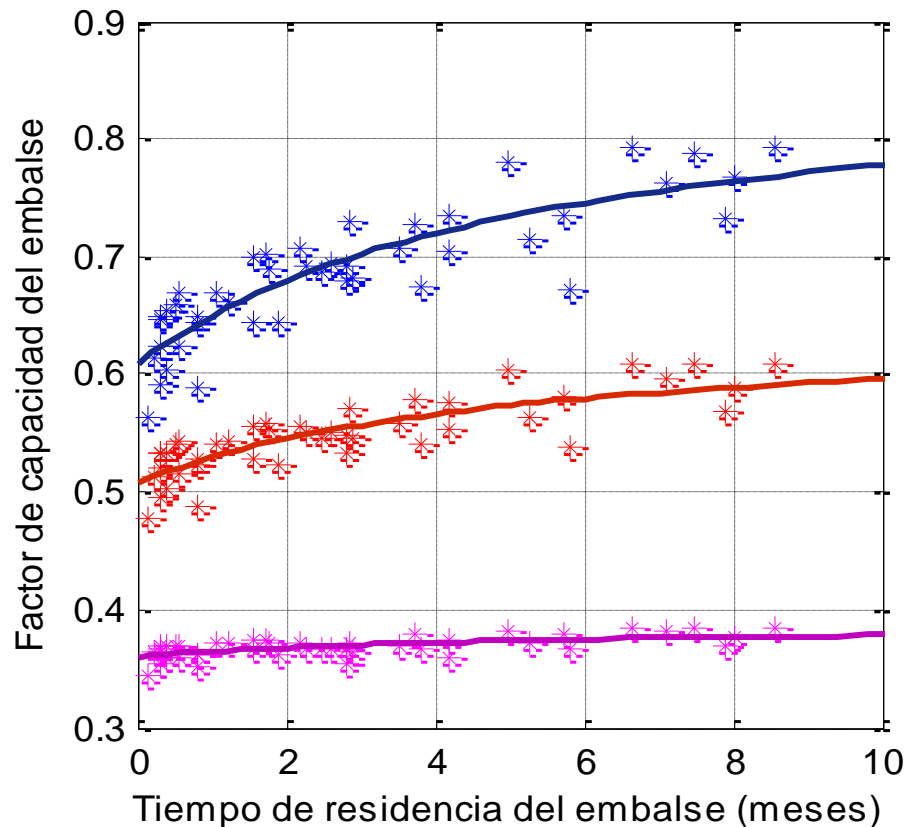
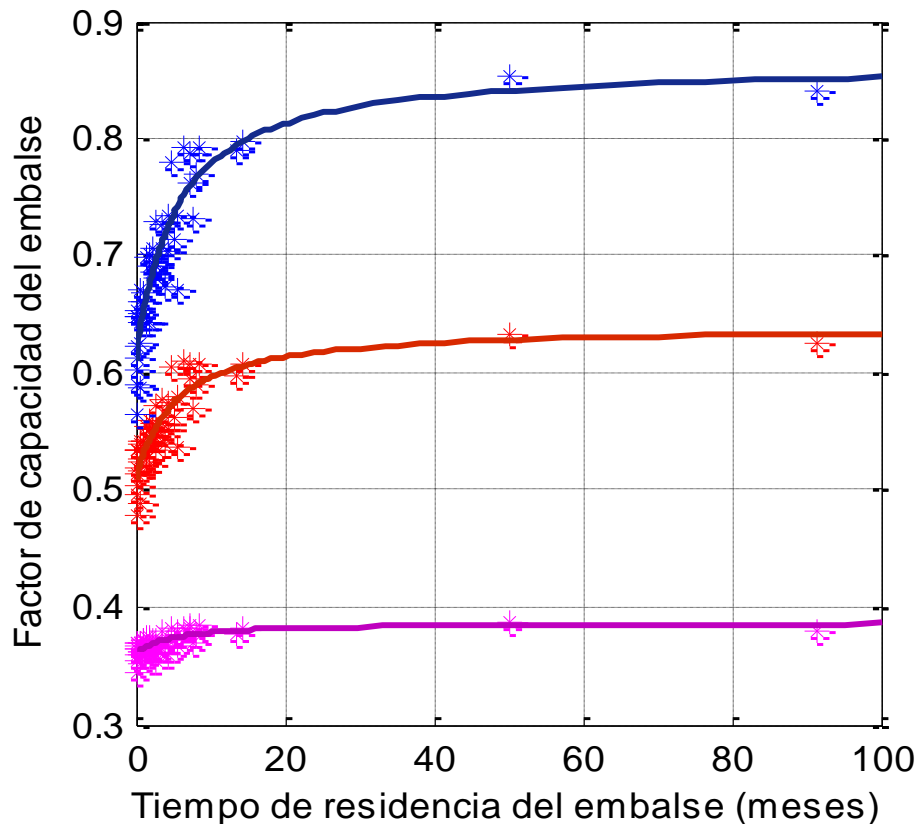
$$\textit{Tiempo de residencia: } t_R = \frac{\textit{Volumen del embalse}}{\textit{Caudal medio de aporte}}$$

# FC vs. $t_R$

para varios posibles sobreequipamientos

$$FC = \frac{\text{Energía generada}}{\text{Máx. en. generable}}$$

$$t_R = \frac{\text{Volumen embalse}}{Q \text{ medio de aporte}}$$



Caudal de funcionamiento / Caudal medio:



1



1.4



2.4

# Algunas conclusiones:

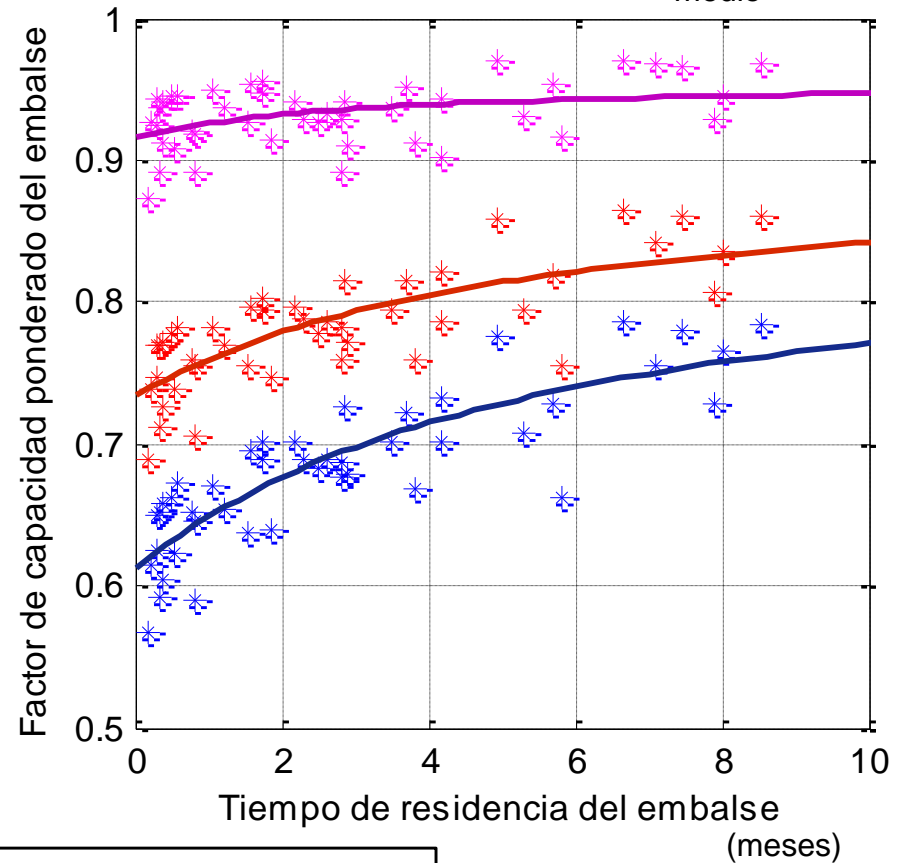
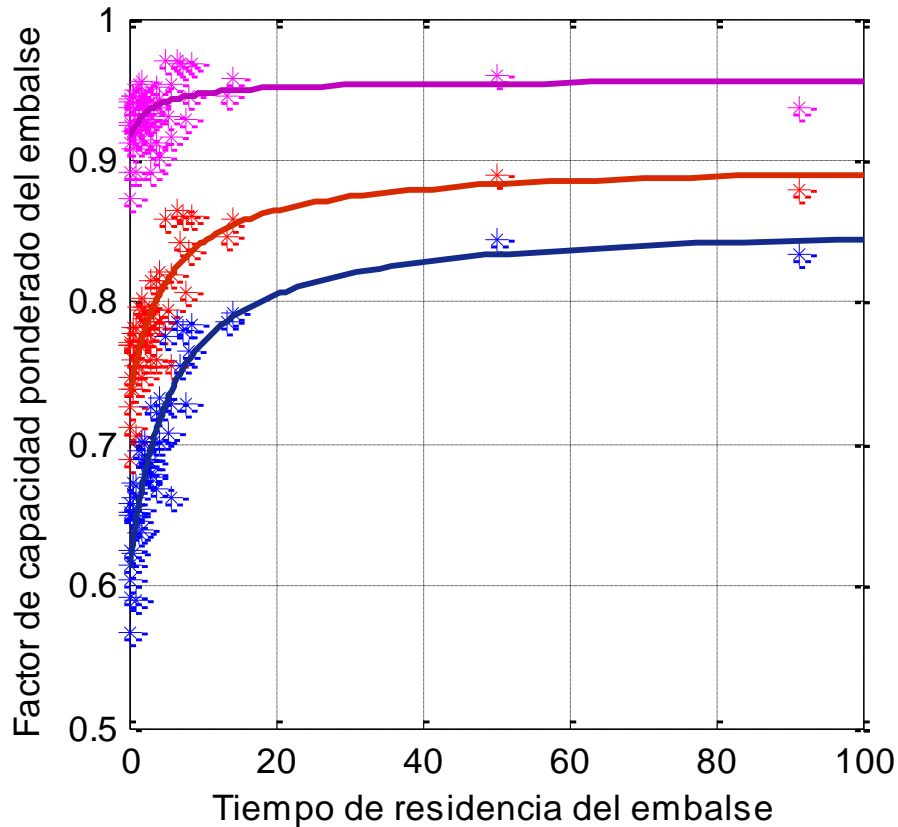
- Factor de capacidad decrece con la capacidad instalada
- Energía generada crece con la potencia de la turbina
- Al aumentar embalse, el FC se independiza del tamaño
- Al aumentar la potencia instalada y disminuir el tiempo de turbinado: un grado de libertad más (horario de turbinado)

Cuantificación:

usando la discriminación horaria, suponer que se turbinata priorizando horarios por precios

# Coeficiente energético (Factor de capacidad ponderado por coeficientes de remuneración de la energía según horarios)

$$C_e = \frac{\text{energía total generada y ponderada}}{\text{energía máxima generable con turbina para } Q_{\text{medio}}}$$



Caudal de funcionamiento / Caudal medio:



1



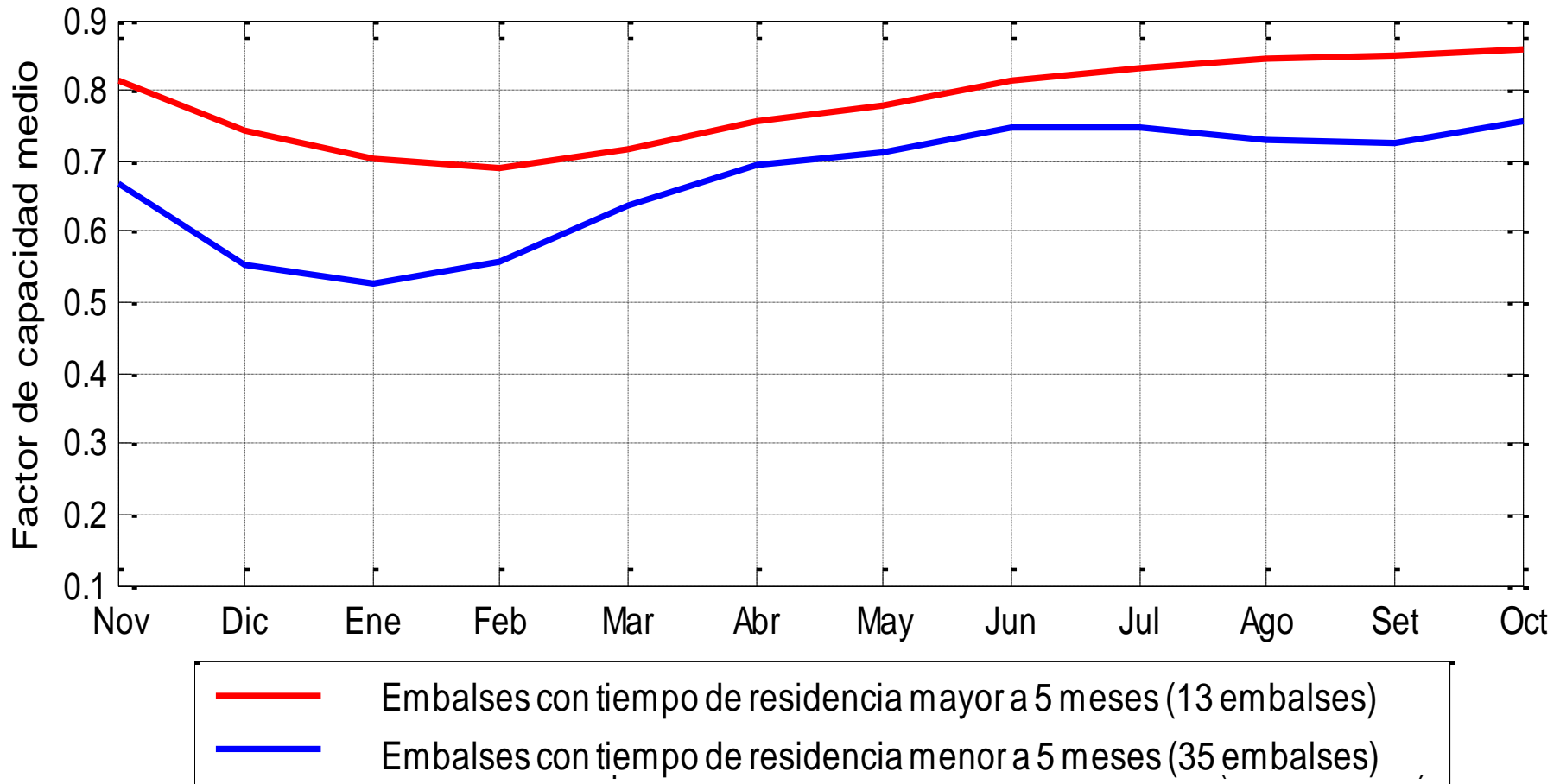
1.4



2.4

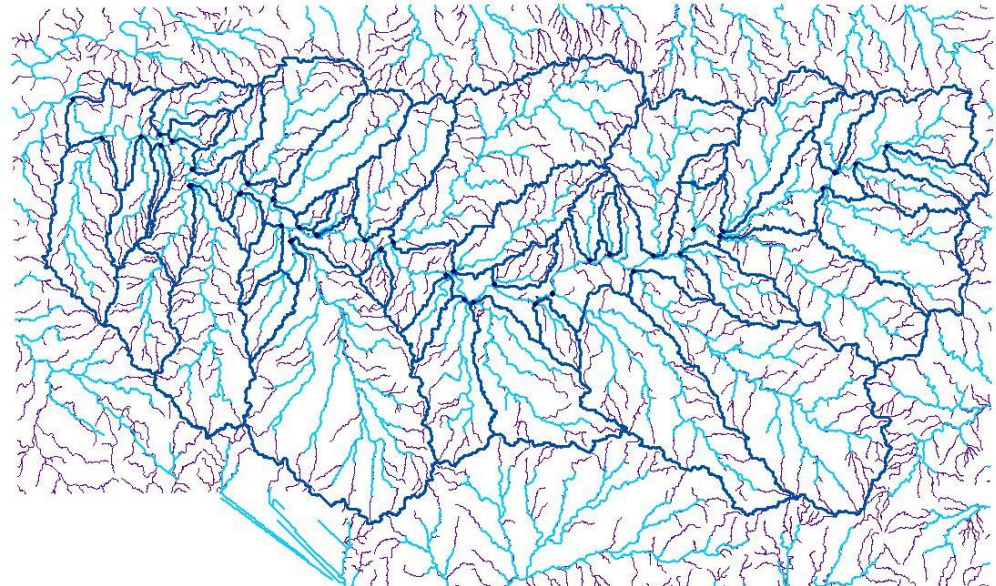
# Estacionalidad del FC promedio

(con el caudal medio)



# Selección de sitios

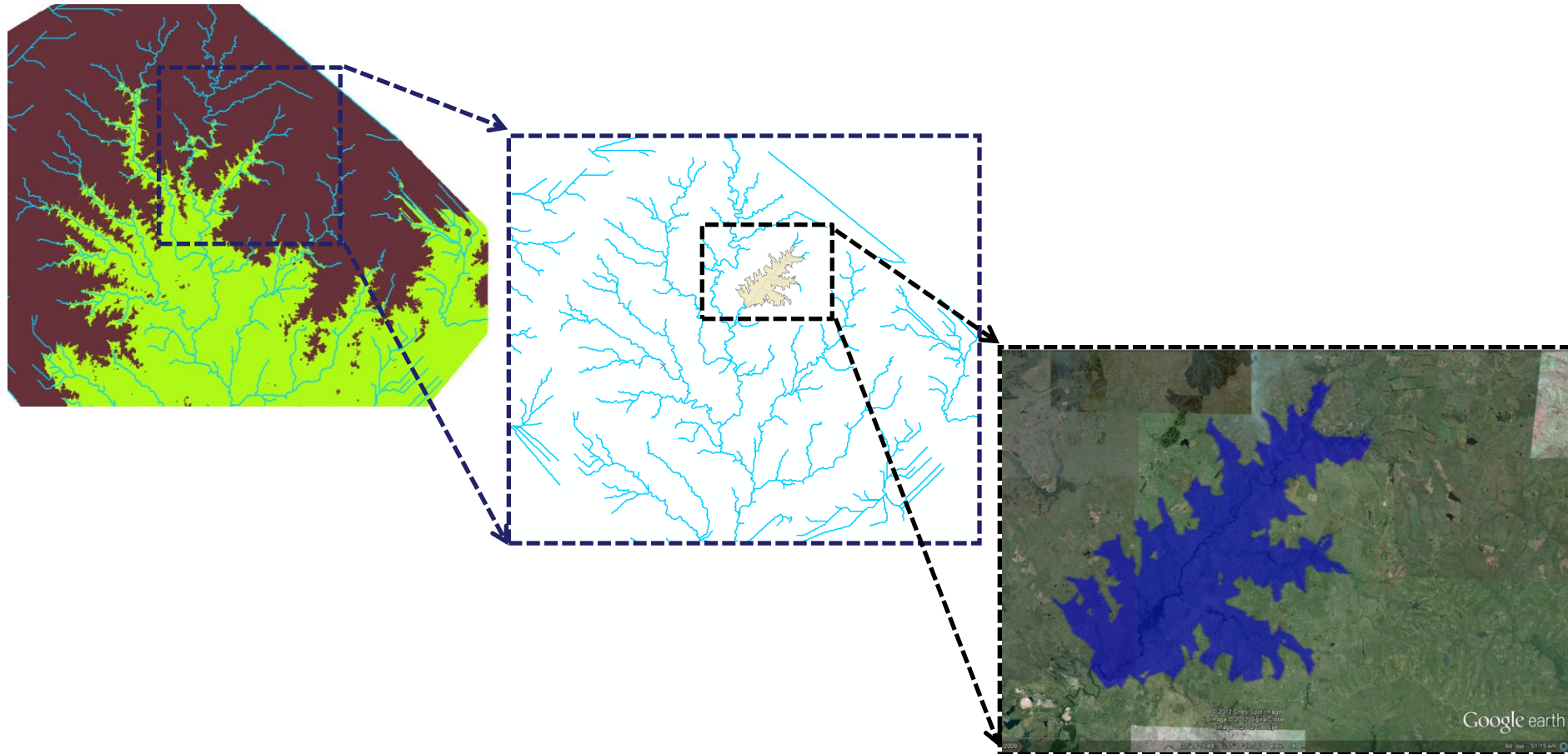
- Herramientas: modelo digital del terreno (del SGM) y software ArcGis (sistemas de información geográfica).
- Google Earth
- Relevamiento por cuencas usando ArcGIS, con cartas 1:50.000





# Selección de sitios

- 160 sitios prometedores (más de 600 kW)
- 129 de ellos: más de 1 MW



# Selección de sitios

## Criterios de eliminación:

- Inundación de centros poblados
- Corte de rutas
- Inundación de zonas incluidas en el SNAP



**70 sitios donde hay mejores condiciones y menos impactos negativos, y permitiría más de 1 MW**

**Potencia total en ellos y energía anual** (factor de capacidad en función del tiempo de residencia)

# Selección de sitios

## 70 sitios

### SITIOS DE POSIBLES APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

Nombre del cierre	Departamento	latitud			longitud			Á_lago (Km <sup>2</sup> )	L_presa (m)	Salto (m)	Volumen presa (miles de m <sup>3</sup> )	Á_cuenca (km <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	Volumen Embalse (hm <sup>3</sup> )	P (kW)	indice CONEAT medio	Energía generable anual (MWh)
		grad	min	seg	grad	min	seg										
Yi2_85m	Durazno	33	25	33	56	23	17	94	1280	16	583	7379	102	548	12,864	77	71,023
arapey_110m	Salto	31	10	58	56	43	17	18	729	24	525	2700	57	76	10,787	141	59,555
arerunguá_110m	Salto	31	21	55	56	58	56	84	2144	34	2,578	1780	37	675	9,890	103	65,504
arerunguá_90m	Salto	31	19	43	57	4	15	49	1049	24	148	2391	50	261	9,378	127	55,836
arapey_120m	Salto	31	10	46	56	41	59	40	1082	20	277	2766	59	269	9,209	146	50,843
tacuari_70m	Cerro Largo	32	37	7	54	0	28	49	1409	26	1,886	2467	38	601	7,645	72	50,028
arapey_80m	Salto	31	12	2	57	1	6	31	1416	14	86	3435	69	58	7,569	136	41,351
olimar_60m	Tr y Tres	33	13	31	54	39	57	87	375	21	298	2013	37	355	6,140	79	38,429
queguay_ch_60m	Paysandú	32	6	15	57	24	1	54	1514	24	1,047	1390	27	181	5,050	133	30,680
														sumas:	231,455	1,431,160	

Potencia total instalable: 231 MW

Energía Anual Generable: 1:430.000 MWh

(Anexo 6)

**Selección  
de sitios**

**70 sitios**



# Selección de sitios

## Criterios de selección de sitios a estudiar con mayor detalle:

- Potencia instalable
- Energía anual generable
- Relación Potencia vs. Área inundada
- Relación Potencia vs. Dimensión obra civil
- Distancia a la red de distribución en MT
- Índice CONEAT de padrones inundados

# Criterio de ponderación

## Potencia y energía

arapey\_110m  
Yi2\_85m  
arerunguá\_110m  
arerunguá\_90m  
arapey\_120m  
tacuari\_70m  
arapey\_80m  
arapey\_130m  
olimar\_60m  
olimar\_50m  
yerbal\_90m  
.....

## Impacto

arapey\_110m  
Yi2\_85m  
olimar\_50m  
arapey\_130m  
arapey\_80m  
arapey\_120m  
yerbal\_90m  
tacuari\_70m  
arerunguá\_90m  
arerunguá\_110m  
mataojogde\_120m  
.....

## Rentabilidad

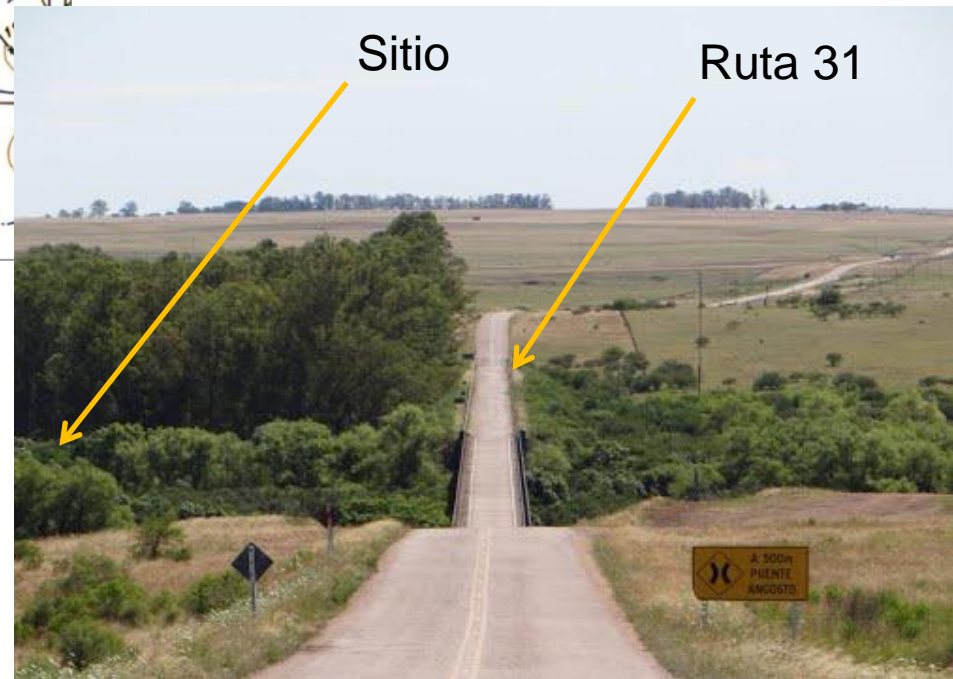
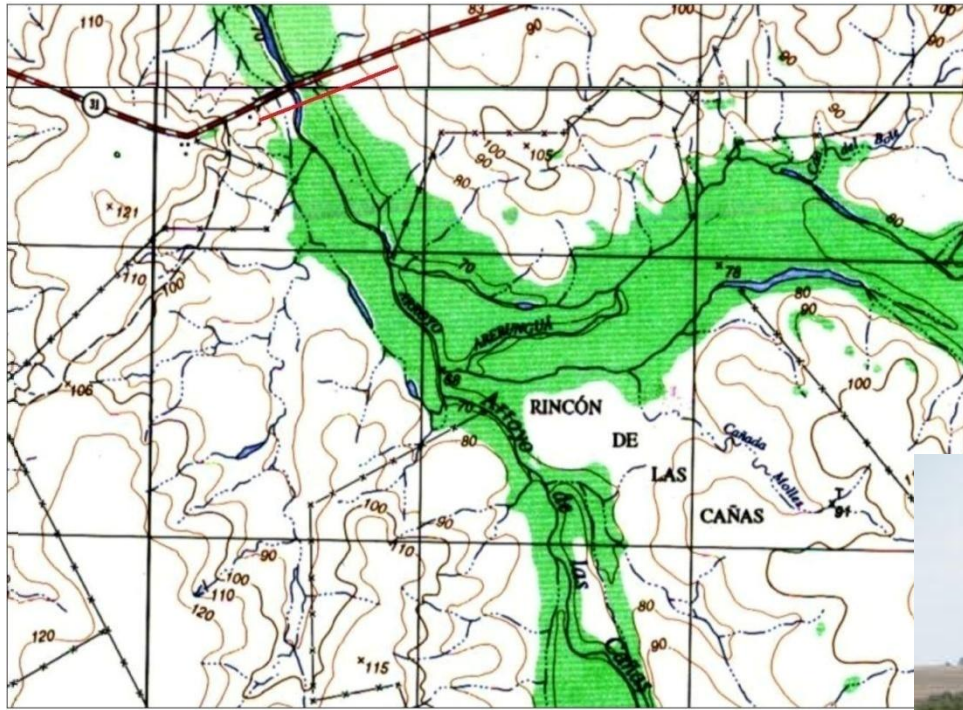
arapey\_110m  
Yi2\_85m  
arerunguá\_110m  
tacuari\_70m  
arerunguá\_90m  
arapey\_120m  
arapey\_80m  
olimar\_50m  
Yerbal\_90m  
Arapey\_130m  
olimar\_60m  
.....

## En ellos, **estudio a nivel de anteproyecto:**

- Cálculo más preciso de caudales y potencia.
- Caudal reservado.
- Diseño preliminar de presa .
- Selección de turbina(s).
- Evaluación de principales impactos sociales – económicos – ambientales.

# Resumen de uno de los anteproyectos

## Arerunguá 90





# Resumen de uno de los anteproyectos

## Arerunguá 90

### Datos generales

Salto neto : 21,1 m

Área de cuenca: 2391 km<sup>2</sup>

Longitud del cierre: 1050 m

Lago: 4874 há

Caudal medio: 50 m<sup>3</sup>/s

Avenida de proyecto para

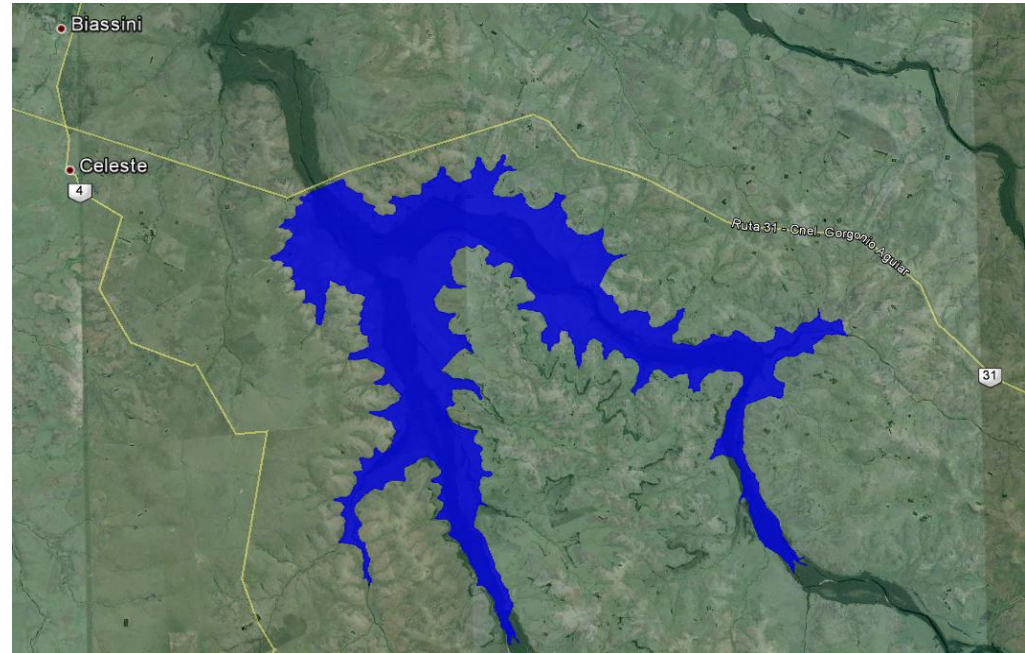
Tr = 500 años: 7056 m<sup>3</sup>/s

Caudal reservado: 1,1 m<sup>3</sup>/s

Factor de capacidad: 0,68

Potencia: 8,8 MW (3 x 2865 + 193)

Energía media anual: 52350 MWh



# Resumen de uno de los anteproyectos

## Arerunguá 90

### Padrones afectados

(a la cota de vertido)

Total: 55

2 en más del 90%

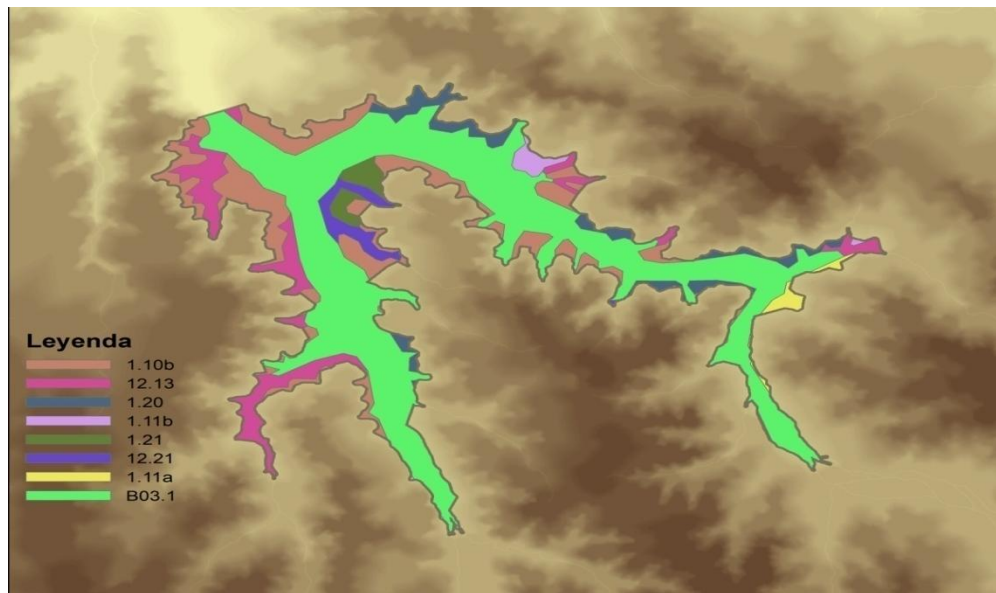
11 en más del 50%



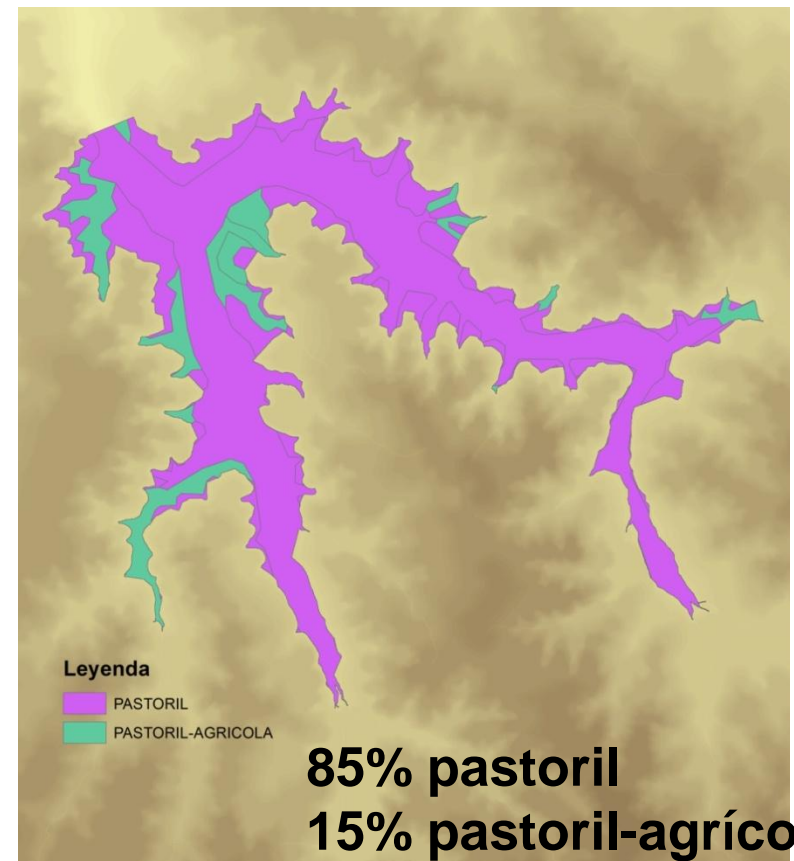
# Resumen de uno de los anteproyectos

## Arerunguá 90

### Índice CONEAT y usos actuales de áreas inundadas



**Índice medio: 127**



# Mini y micro aprovechamientos: embalses multipropósito

## IMFIA 2013:

Estudios de pre-factibilidad en presas existentes

Estudio de pre-factibilidad en presas nuevas

Uso prioritario: riego

Además:

Barreras para implantación PCH

Guía disponibilidad energética

Estudios ambientales

# Pre-factibilidad en presas de riego existentes

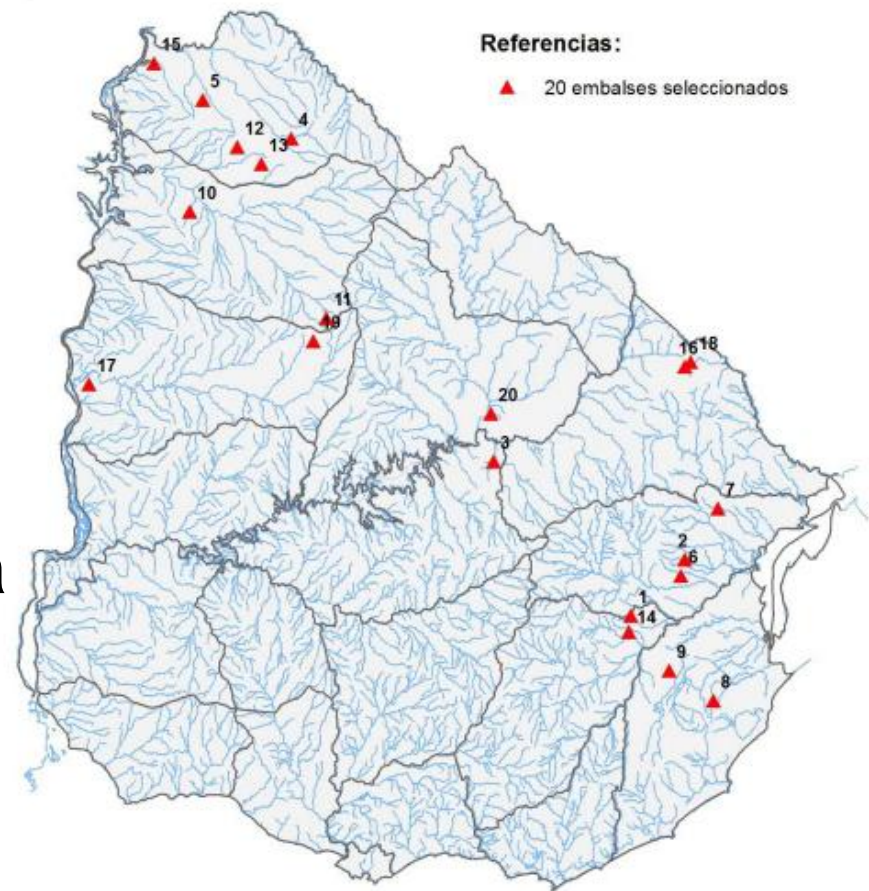
## 20 sitios más prometedores

Posibles escenarios:

- riego continuo
- riego intermitente

Se genera durante:

- temporada de riego
- temporada de llenado a cota de vertido

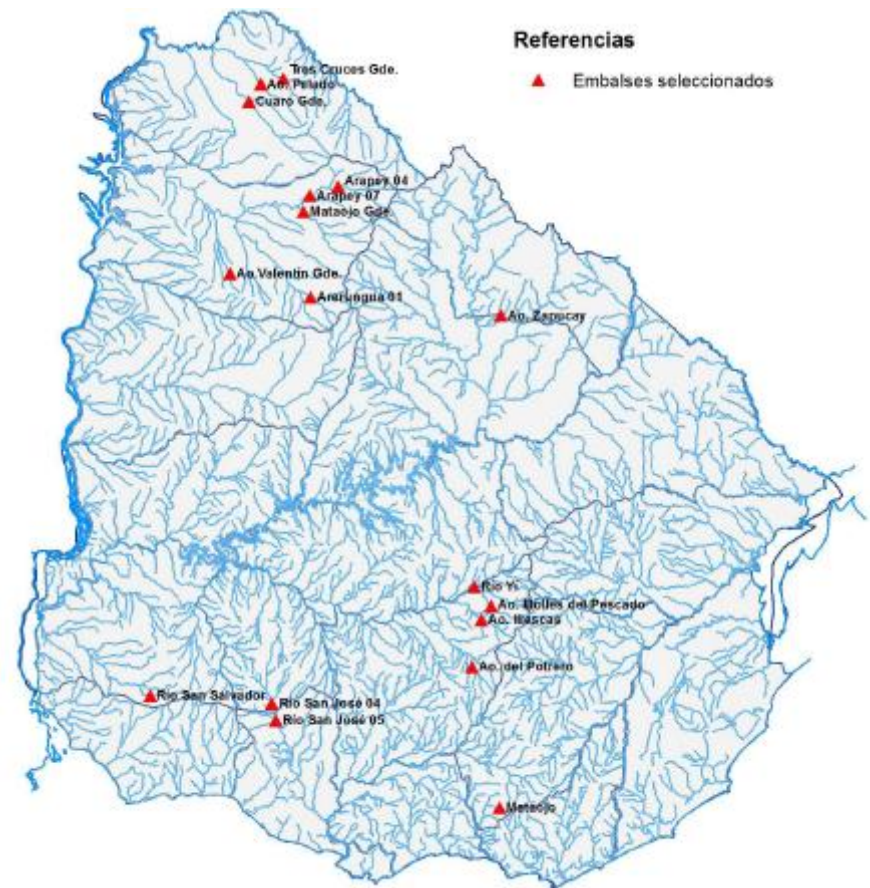


# Pre-factibilidad en presas de riego nuevas

## 17 sitios más prometedores

Mismos escenarios de riego

Mismas posibilidades de  
generación



# Mini y micro aprovechamientos: embalses multipropósito

## Conclusiones:

Pocos casos con TIR a 20 años positiva, bajo hipótesis de energía a 90 U\$S / MWh

Sensibilidad al precio de venta de energía para TIR=12% a 20 años:

Presas existentes → entre **108 y 411 U\$S / MWh**

Presas nuevas → entre **60 y 320 U\$S / MWh**

Muy sensible al protocolo de riego

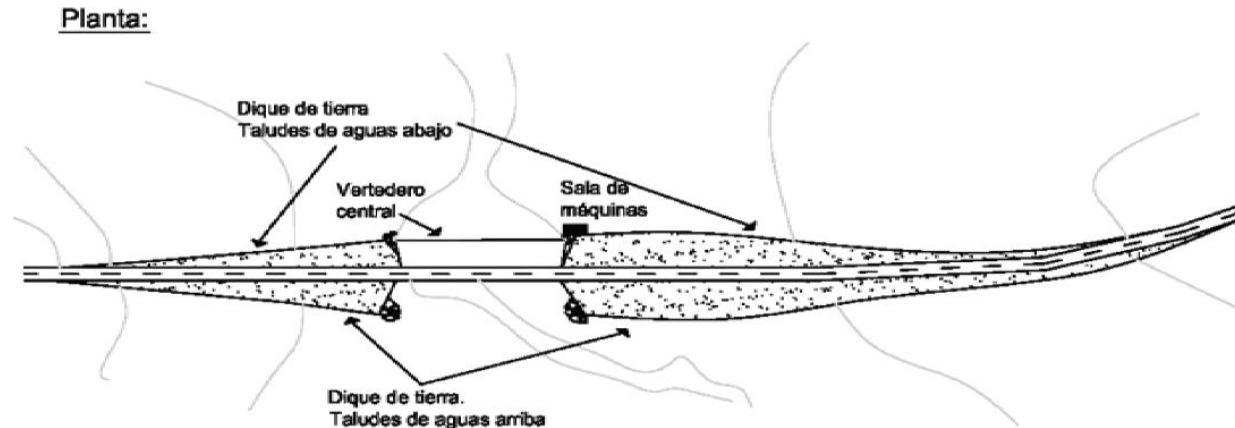
Costos de equipos electromecánicos elevados

# Resumen de uno de los anteproyectos

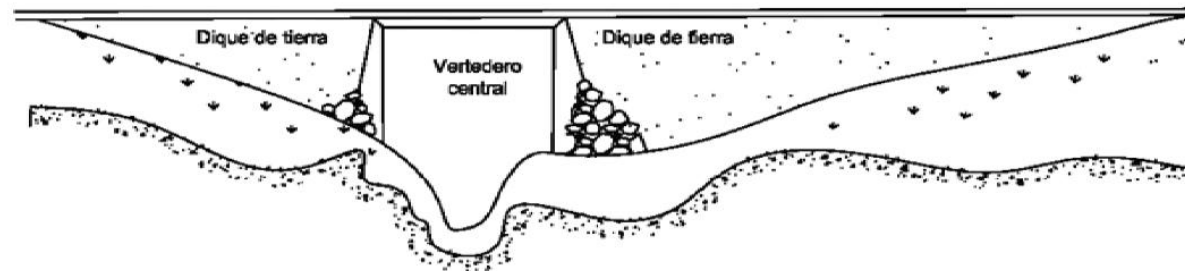
## Arerunguá 90

### Presa

- Vertedero de hormigón, 70 m, a cota +90m
- Aliviadero 180 m
- Altura: 38 m sobre la fundación
- Movimiento de tierra: 2:800.000 m<sup>3</sup>
- Volumen hormigón: 35.000 m<sup>3</sup>



Vista desde aguas arriba:



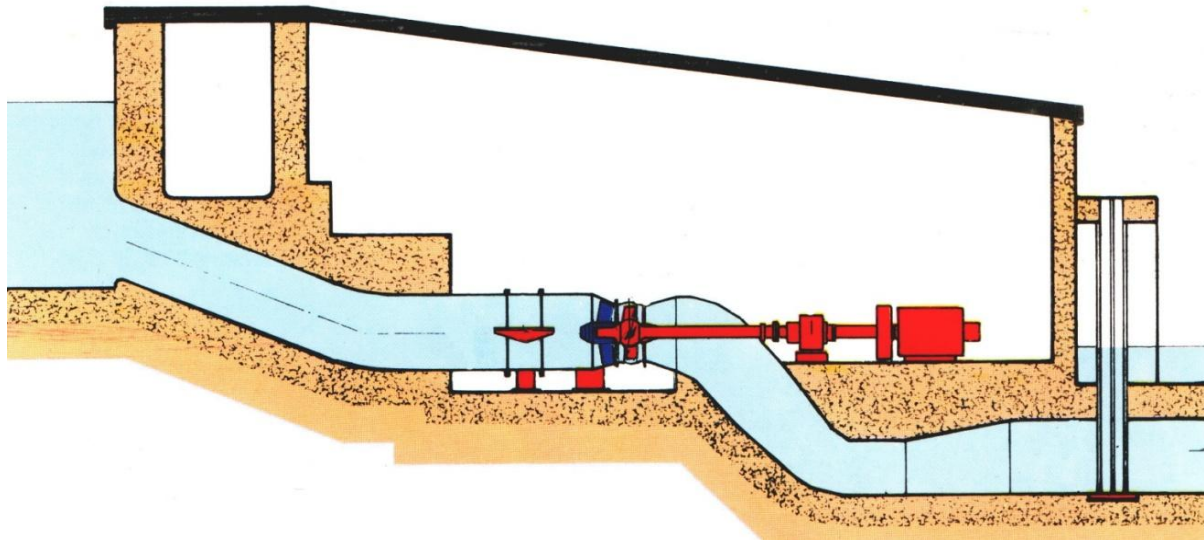


# Resumen de uno de los anteproyectos Arerunguá 90

## Turbinas propuestas

Axiales, eje horizontal (generador horizontal o vertical)

- 3 x 2865 kW (D =1,90 m)
- 1 x 193 kW (D =0.40 m)



# Resumen de uno de los anteproyectos

## Arerunguá 90

### Estimación de costos

Obra civil (incl. caminería, accesos, etc.):	U\$S 31:500.000
Equipos electromecánicos:	U\$S 30:800.000
Proyecto, estudios de impacto, fondo de reserva:	U\$S 4:300.000
Compra terrenos:	U\$S 12:100.000
<b>Total:</b>	<b>U\$S 83:200.000</b>
	(U\$S 9450 / kW)

( A U\$S 90/MWh, 30 años: TIR  $\approx$  3,9 % )

# Tecnologías para mini y pequeños aprovechamientos en Uruguay

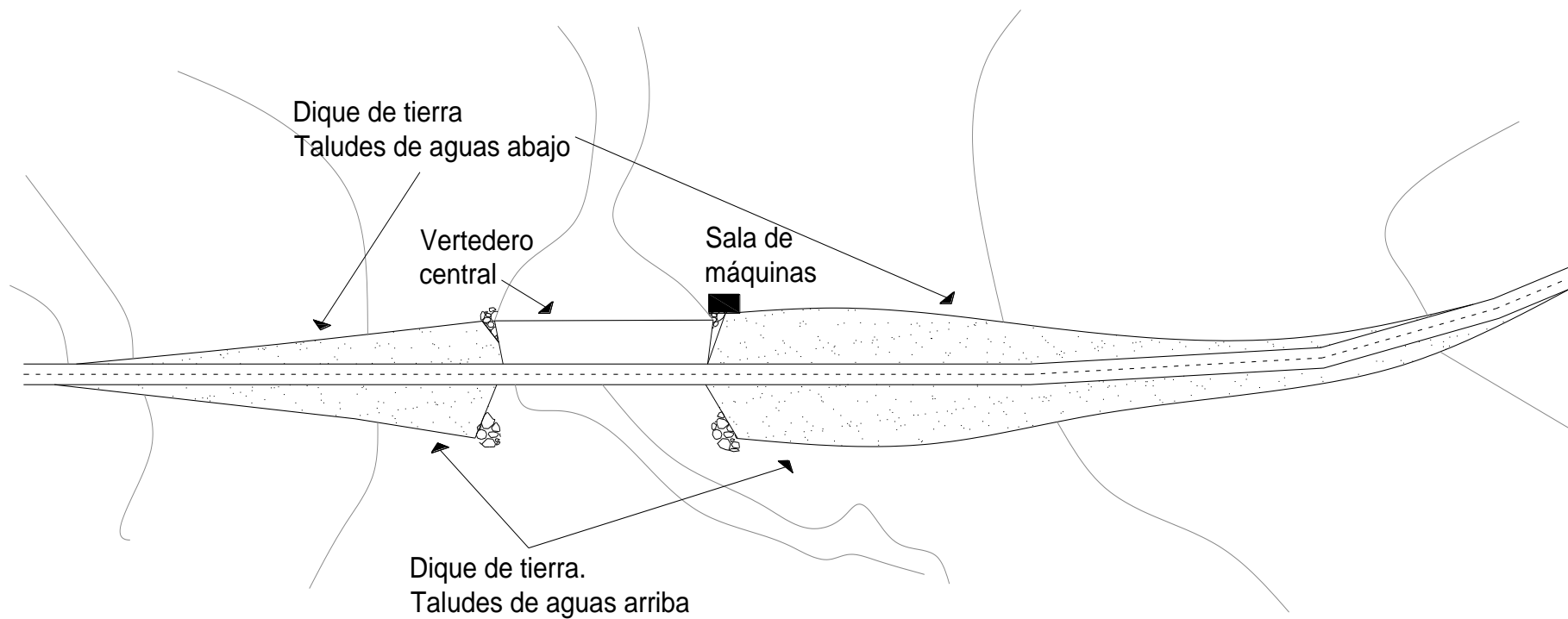
## Presas:

- De gravedad, de materiales sueltos
- Sección heterogénea
  - núcleo impermeable de alto contenido de arcilla
  - faldones de granulometría mayor
  - enrocado en el lago
- Aliviadero central estándar
- Eventualmente, canales laterales sangradores



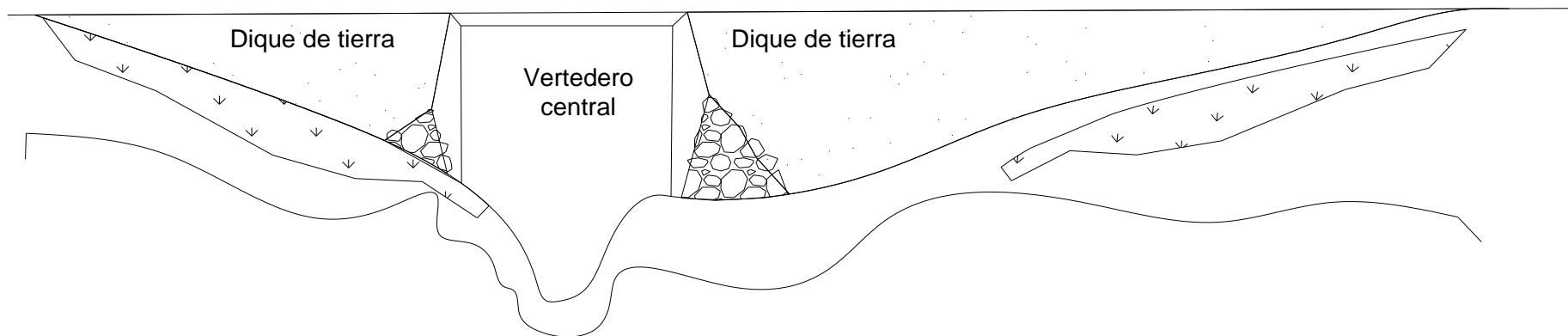
# Presas típicas para PCH en Uruguay : vista en planta

Planta:



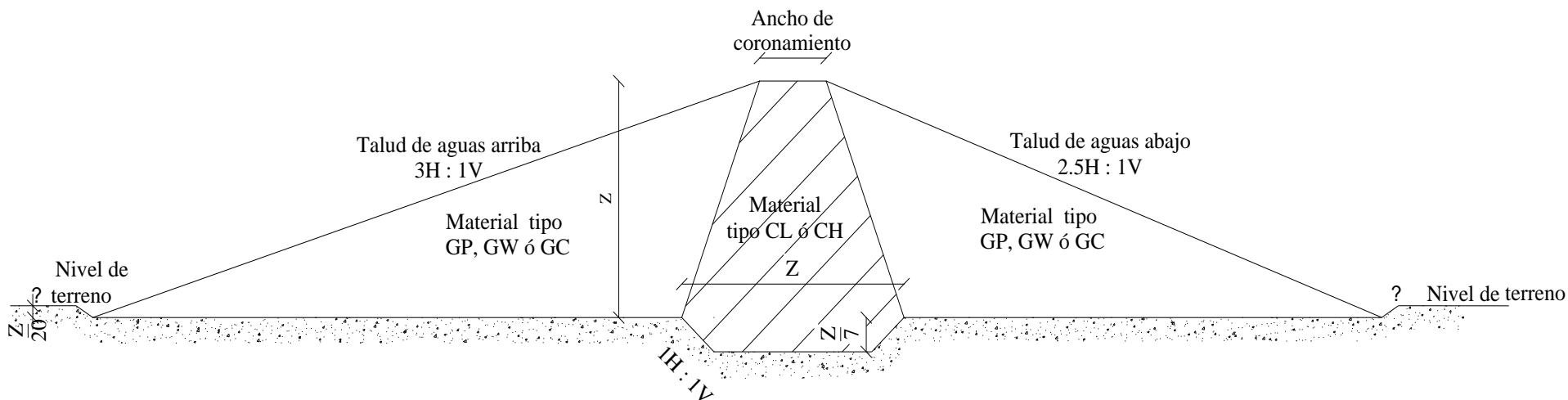
# Presas típicas para PCH en Uruguay: vista frontal

Vista desde aguas arriba:



# Presas típicas para PCH en Uruguay : corte de la presa de tierra

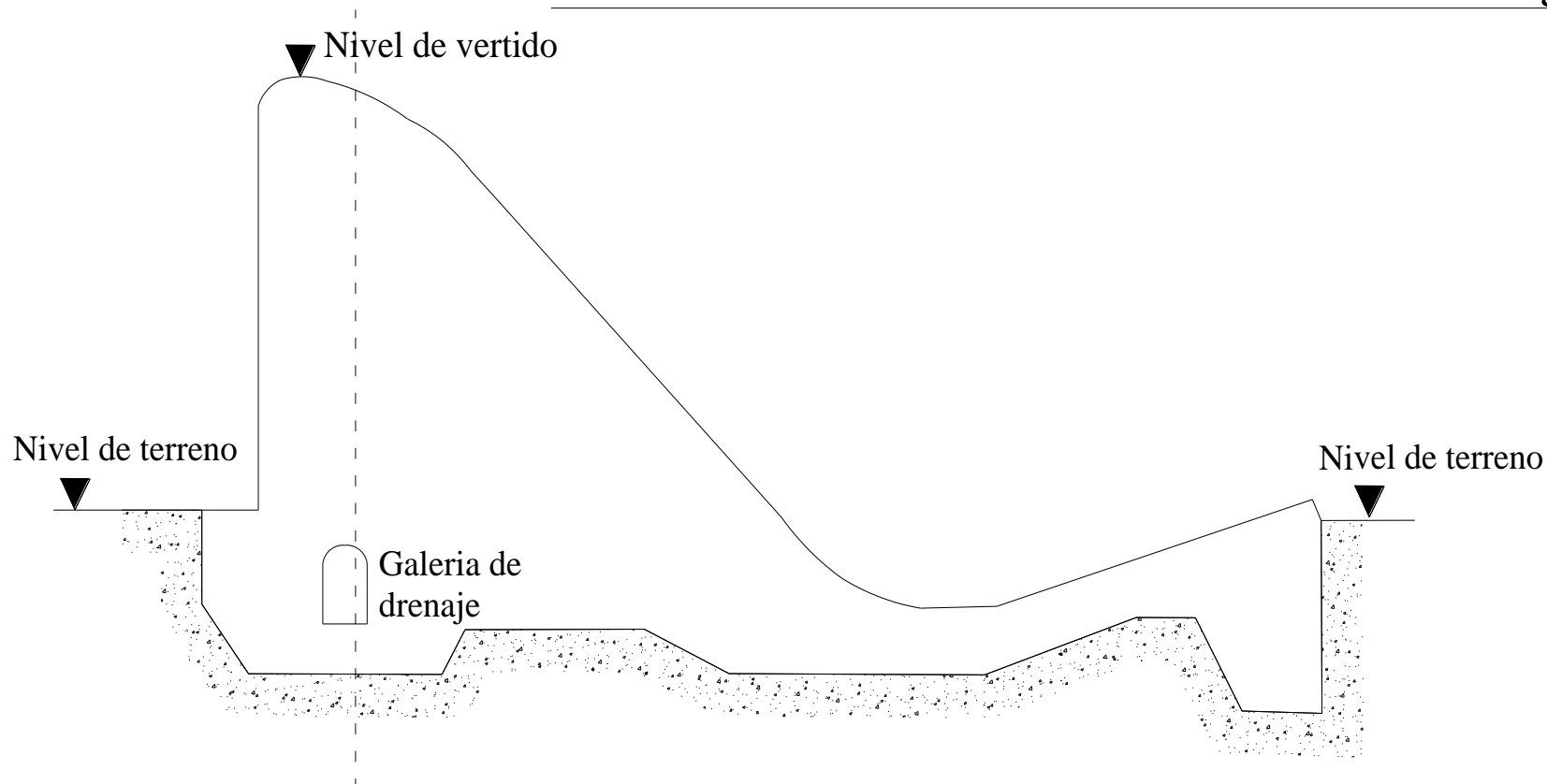
Corte transversal del terraplén de la presa:



- GP: muy permeable buena resistencia al corte
- GW: permeable, excelente resistencia al corte
- GC: impermeable, buena ↓ resistencia al corte
- CL: impermeable, compresibilidad media
- CH: impermeable, elevada compresibilidad

# Presas típicas para PCH en Uruguay: corte del vertedero

## Corte transversal del vertedero central de hormigón



# Tecnologías para micro, mini y pequeños aprovechamientos en Uruguay

## Obras civiles complementarias

- Compuertas de vertido (radiales): sólo si se usan para control de crecidas
- Obra de toma con compuertas, rejas, desarenadores
- Disipadores de energía aguas abajo
- Accesos





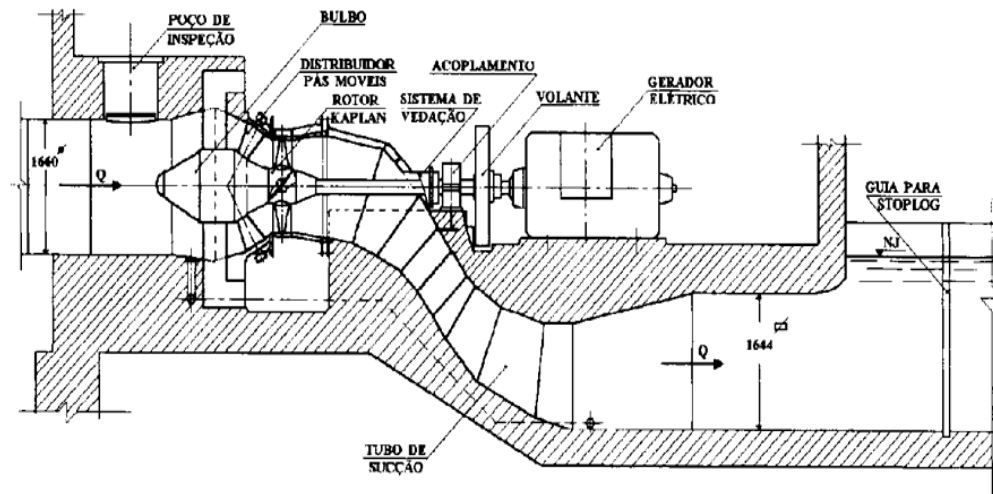
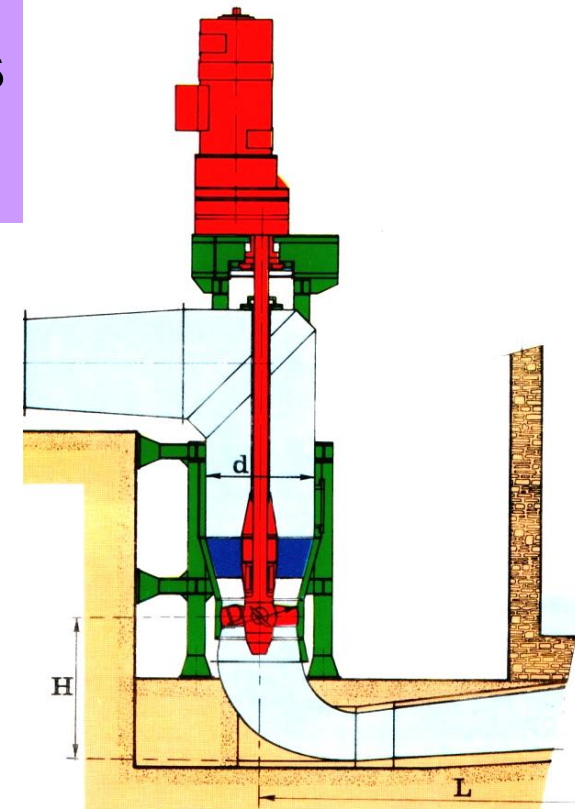
# Tecnologías para micro, mini y pequeños aprovechamientos en Uruguay

- Turbinas Michel-Banki y axiales
  - Mini (<1MW) prima el costo inicial
    - ⇒ Michel-Banki, o axiales de diseño simple
  - Pequeñas (p.e., > 2 MW) prima el rendimiento
    - ⇒ axiales (propeller o Kaplan)
- regulación de velocidad: electro-electrónica (costos)
- Turbinas en paralelo (aumenta la velocidad de c/u)
- Conectados a la red eléctrica nacional
- Generadores pueden ser asincrónicos (micro, pico y menores: pueden ser de continua o rectificar, almacenamiento en baterías)

# Tecnologías para micro, mini y pequeños aprovechamientos en Uruguay

## Turbinas de flujo axial

- se adaptan a las condiciones usuales en el país (bajo salto, alto caudal)
- N mayor que las Michell-Banki
- Buenos rendimientos (en especial con álabes ajustables)
- los álabes requieren diseño y construcción cuidadosos (de fundición, aluminio, ...)
- Costo alto
- Sensibles a la cavitación



# Diseño de pequeñas turbinas axiales

**Nº de álabes:** 3 a 5

## **Materiales:**

- Rotor: acero inoxidable, bronce, aluminio
- Eje: acero de medio carbono (por ej. AISI 1045)
- Cojinetes: bronce
- Conducto de presión: hormigón, acero, fundición
- Tubería de aspiración: hormigón, acero

**Generador:** asincrónico, 1, 2 ó 3 pares de polos, con reductor; o de imanes permanentes

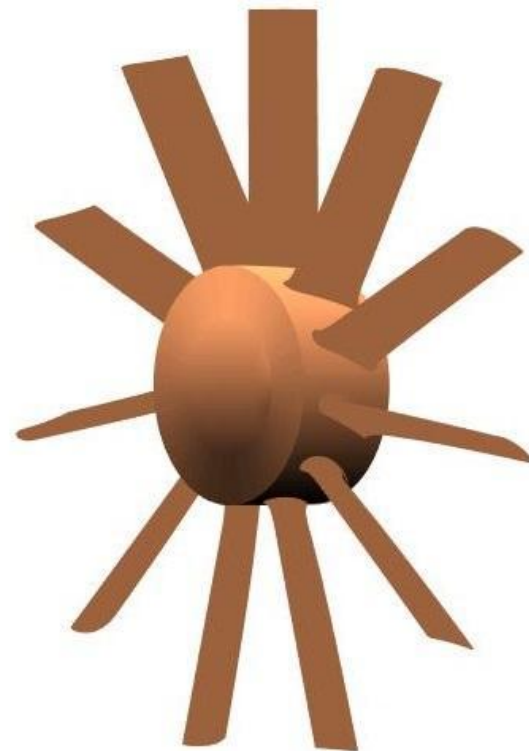
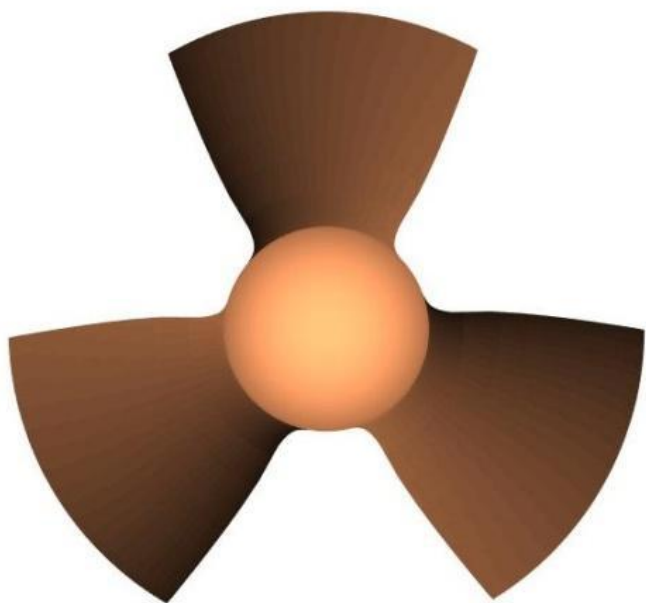
**Hélice** (no Kaplan) : posible fabricación nacional

**Sistema de control:** eléctrico/electrónico

**Sistema de regulación:** compuerta o distribuidor de álabes, actuador hidráulico o neumático o eléctrico

# Tecnologías para micro, mini y pequeños aprovechamientos en Uruguay

## Desarrollo de modelos en el IMFIA (ANII-FSE 2016)



# Tecnologías para micro, mini y pequeños aprovechamientos en Uruguay

## Desarrollo de modelos en el IMFIA (ANII-FSE 2016)



# Tecnologías para micro, mini y pequeños aprovechamientos en Uruguay

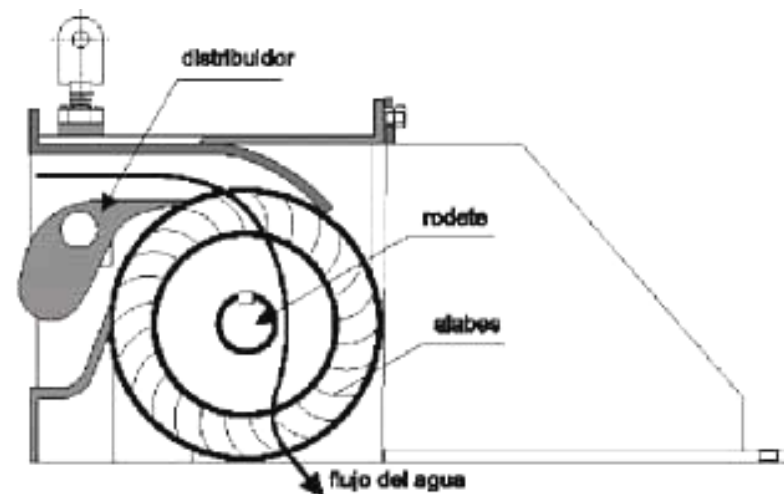
## Banco de ensayos para turbinas de bajo salto (ANII-FSE 2016)



# Tecnologías para micro, mini y pequeños aprovechamientos en Uruguay

## Turbinas Michell-Banki

- Simplicidad constructiva y de diseño (fundamentalmente por los álabes)
- El álabe inyector o distribuidor es lo más complejo (fundición o chapa conformada)
- Costo inicial menor que axiales o Francis



# Tecnologías para micro, mini y pequeños aprovechamientos en Uruguay

Facilidad de instalación

Eje horizontal: posible inundación del generador

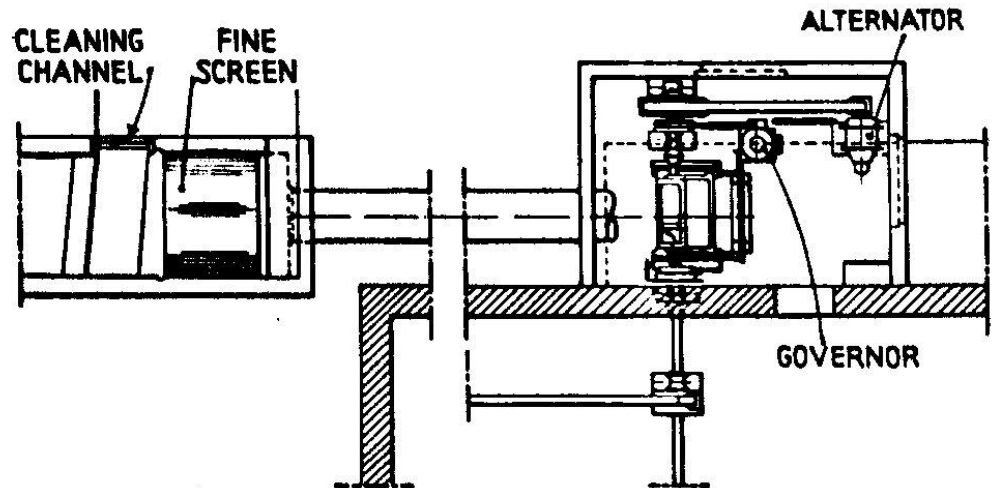
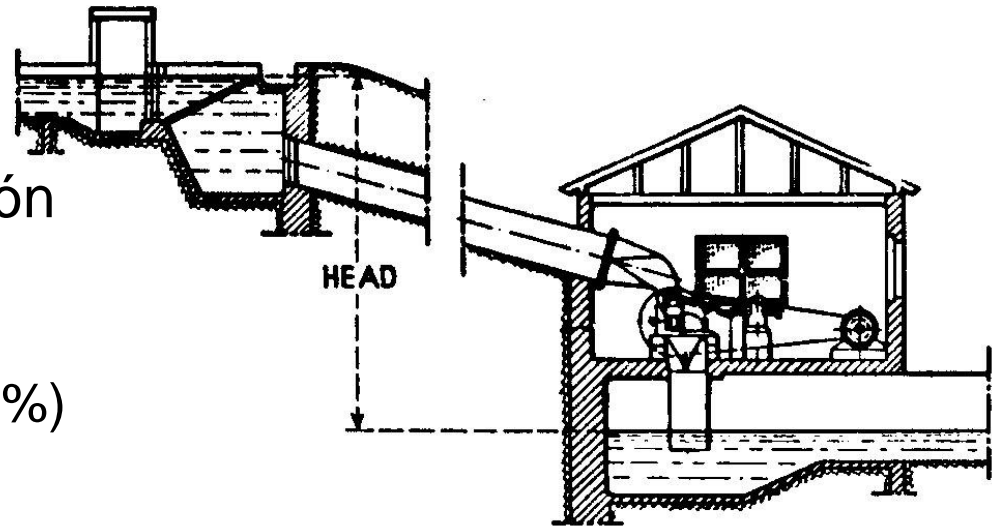
Rendimiento no muy alto (80-82%)

No adecuado gran escala

Sin cavitación

Sin empuje axial

En general, de bajo N (desfavorable)





# CENTRALES DE ACUMULACIÓN POR BOMBEO EN URUGUAY

- Aumenta la reserva energética de rápida disponibilidad
- Permitiría atender picos
- Requiere reservorio elevado y reservorio bajo (impactos) ; a poca distancia entre sí (costos)
- Balance energético negativo

# Algunos sitios propuestos y estimaciones preliminares de potencias y costos

(UTE, 2014)

- Sierra de la Aurora (Cuchilla Negra, Rivera)  
250 MW, H = 168 m, U\$S 320 M
- Sierra de Tambores, Tacuarembó  
200 MW, H = 138m, U\$S 280 M
- Sierra de los Ríos, Cerro Largo  
300 MW, H = 205m, U\$S 460 M

# RESUMEN

## Energía hidroeléctrica en Uruguay

- Cuantificación Global
- Fortalezas
- Debilidades
- Oportunidades
- Problemas abiertos

# RESUMEN

## Energía Hidráulica en Uruguay

### **Cuantificación global :**

- ampliación de generación en Río Negro y Río Uruguay: hasta 25 % de demanda actual
- generación distribuida en otros pequeños aprovechamientos (PCH): hasta 15 % de demanda actual
- generación distribuida o autónoma en mini o micro aprovechamientos: soluciona situaciones puntuales, sin entidad en el balance nacional

# RESUMEN

## Energía Hidráulica en Uruguay

### **Fortalezas:**

- insumo gratis (agua)
- a gran escala y media escala: costo de operación muy bajo
- renovable
- no contaminante
- con “buena prensa”
- soberanía sobre el recurso
- permite o coexiste con usos alternativos (riego, ganado, piscicultura, recreativo, transporte fluvial,...)
- represas permiten control de crecidas
- embalses permiten almacenar energía

# RESUMEN

## Energía Hidráulica en Uruguay

### Debilidades:

- Muy dependiente de precipitaciones
- Inunda terrenos (desplaza población, desplaza producciones, interrumpe vías de comunicación)
- otros impactos ambientales
  - clima zonal o regional (no está demostrado)
  - fauna
  - flora
  - acumulación de metales pesados en embalses
- impactos poblacionales (socio-demográficos)
- Impactos sobre la salud humana y animal (lagos con agua estancada, alteración de equilibrios biológicos, proliferación de insectos, impacto sobre cadenas tróficas...)

# RESUMEN

## Energía Hidráulica en Uruguay

### Oportunidades :

- ahorrar otras fuentes energéticas no renovables o importadas
- electrificar zonas alejadas de la red (limitado)
- represa → puente:  
comunicaciones
- disminución de costos de la energía
- industria local de fabricación y montaje
- generación de puestos de trabajo



Líneas de media tensión

# RESUMEN

## Energía Hidráulica en Uruguay

### **Problemas abiertos:**

- rentabilidad de la inversión
- fabricación local de turbinas y compuertas
- sistema de regulación barato y confiable
- almacenamiento de la energía
- usos mixtos de presa y lago
- caudal reservado
- comercialización de la energía transmitida y distribuida
- cuantificación e internalización de costos externos



# **CONCLUSIONES FINALES**

# Conclusiones finales

- En Uruguay es posible generar energía hidroeléctrica adicional a la existente.
- En gran escala: pocos, con fuertes impactos, requieren grandes inversiones, rentabilidad casi segura
- P.C.H.: en bastantes lugares, con impactos medios y rentabilidad dudosa
- MiniC.H., microC.H. y picoC.H.: en muchos lugares, con pequeños impactos y rentabilidad dudosa, solucionando problemas locales o puntuales
- Hidrocinéticas en ríos o arroyos: ídem
- Hidrocinéticas en el mar: sólo recientemente estudiado, difícil rentabilidad

# Conclusiones finales

Se dispone de los recursos principales: hay capacidades tecnológicas e industriales para

- los estudios y proyectos
- buena parte de las obras o instalaciones
- operación y mantenimiento

Se requerirá una firme y decidida opción político/gubernamental de apoyo para que se realicen nuevos emprendimientos en PCH o miniCH

Se debe prever siempre los impactos ecológicos y socioeconómicos, cuantificarlos, remediarlos, desde las etapas iniciales del proyecto

***No está mal hacer acciones tecnológicas con impactos negativos.***

***Está mal hacerlas desaprensivamente, sin prever los impactos, estudiarlos ni remediarlos.***