



**GOBIERNO DE CHILE**  
**CONICYT**  
**FONDEF**

# EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN EN ACUICULTURA.

Joel Barraza, Germán Merino, Alejandro Segura, Guido Drago, Carlos Basulto,  
Macarena Morales

Universidad Católica del Norte, Unidad de Ingeniería, Coquimbo, Chile.

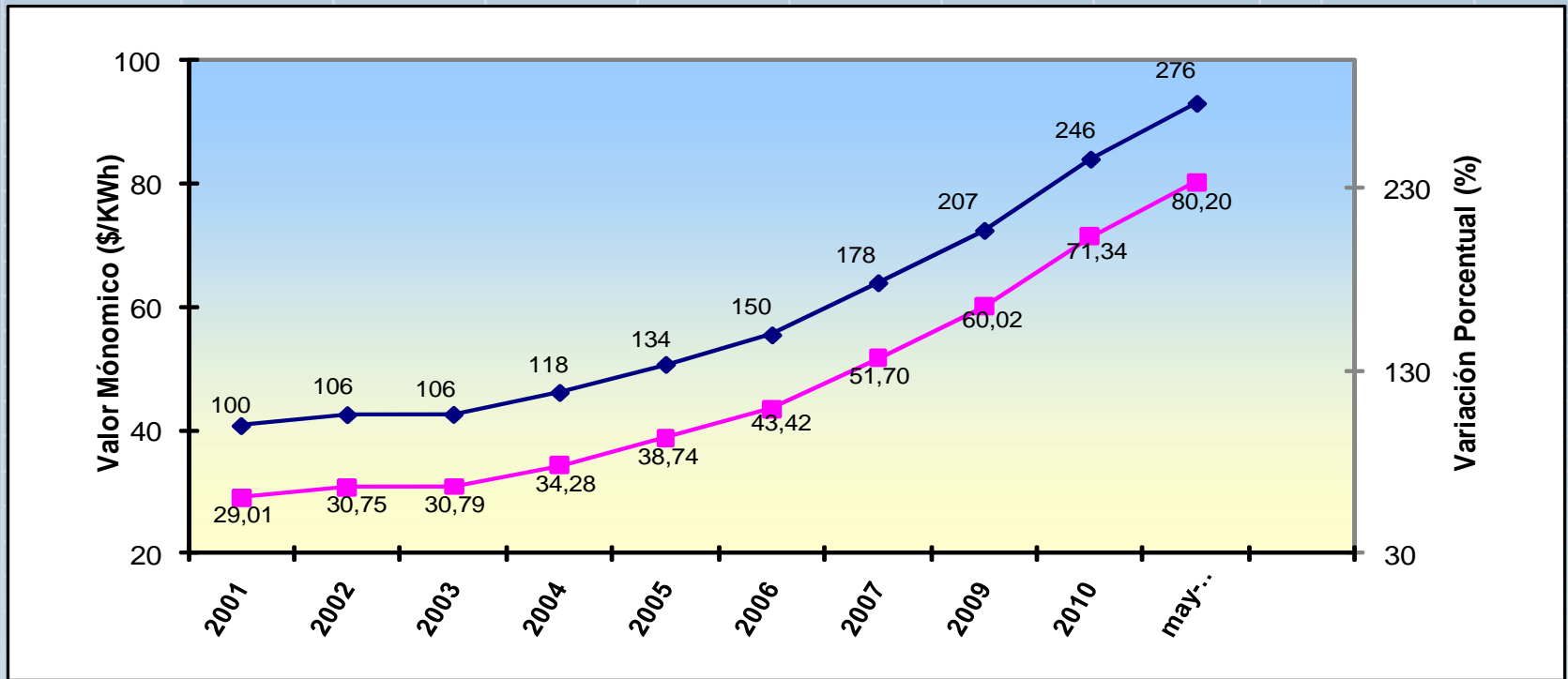
by Eng. Joel Barraza



# Introduction

- Para proyectos de acuicultura emplazados en tierra, los costos variables son los mas incidentes en su rentabilidad.
- Desde e punto de vista de operación para proyecto de engorda se requiere un factor de servicio 24-7.
- El consumo de energía de los SB resulta ser uno de los costos variables mas relevantes después de la alimentación.

# Incremento del costo de la energía en los últimos 10 años



# Eficiencia

- Eficiencia es un concepto universal que relaciona lo obtenido sobre lo gastado, concepto que se define por  $\eta$ .

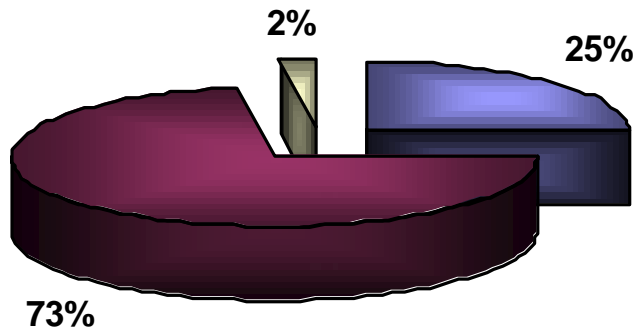
$$\eta = \frac{\text{Lo que se obtiene}}{\text{Lo que se gasta}}$$

Eficiencia  
Energética

Eficiencia  
Operacional

# Operación

## DISTRIBUCIÓN COSTOS DEL PROYECTO

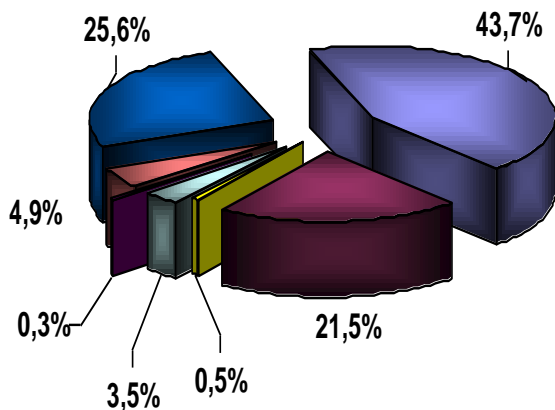


■ Costos Fijos

■ Costos Variables

■ Gastos de Adm. Ventas y Comercialización

## DISTRIBUCIÓN COSTOS VARIABLES DEL PROYECTO



■ Alimento

■ Energía

■ Combustible

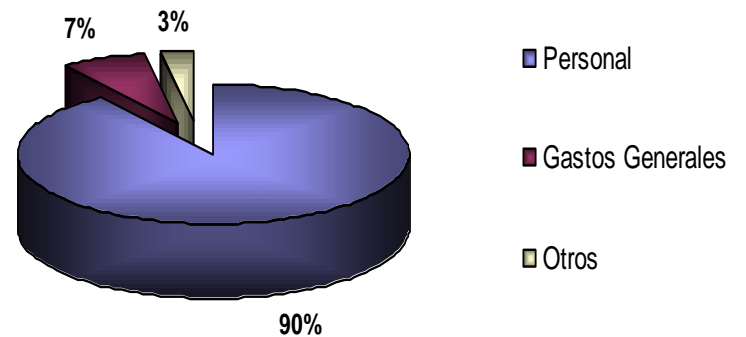
■ Traslado Personal

■ Equipamiento operarios

■ Bono Producción

■ Proceso

## Distribución Costos Fijos



■ Personal

■ Gastos Generales

■ Otros

# Eficiencia Energética

- Es una relación entre la energía hidráulica obtenida y la energía gastada (eléctrica por lo general) .

$$\dot{W}_{Hidráulica} = H_m \cdot \gamma \cdot Q$$
$$\dot{W}_{Eléctrica} = V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3}$$
$$\eta = \frac{\dot{W}_{Hidráulica}}{\dot{W}_{Eléctrica}}$$

**W** : Flujo de energía (potencia) hidráulica o eléctrica (Watt)

**$\gamma$**  : Peso específico del agua (9810 N/m<sup>3</sup>)

**H<sub>m</sub>** : Altura manométrica (altura estática + pérdidas de carga, mca).

**Q** : Caudal solicitado por el proyecto (m<sup>3</sup>/s)

**$\eta$**  : Eficiencia tecnológica de las bombas (entre 0,15 ....0,90)

**V** : Voltaje (V)

**I** : Intensidad (A)

**cos $\Phi$** : Factor de potencia del motor (normalmente 0,93)

- Por lo tanto la energía gastada estaría representada por la siguiente expresión

$$\dot{W}_{Eléctrica} = \frac{\dot{W}_{Hidráulica}}{\eta} = \frac{H_m \cdot \gamma \cdot Q}{\eta}$$

Constante

Depende del nivel de producción o restricción técnica del diseño

- Por lo tanto la energía gastada estaría representada por la siguiente expresión

$$\dot{W}_{Eléctrica} = \frac{\dot{W}_{Hidráulica}}{\eta} = \frac{H_m \cdot \gamma \cdot Q}{\eta}$$

Variables de diseño que establecen el consumo de energía

Debemos usar la mejor eficiencia tecnológica con un emplazamiento y diseño hidráulico que otorgue la menor altura manométrica



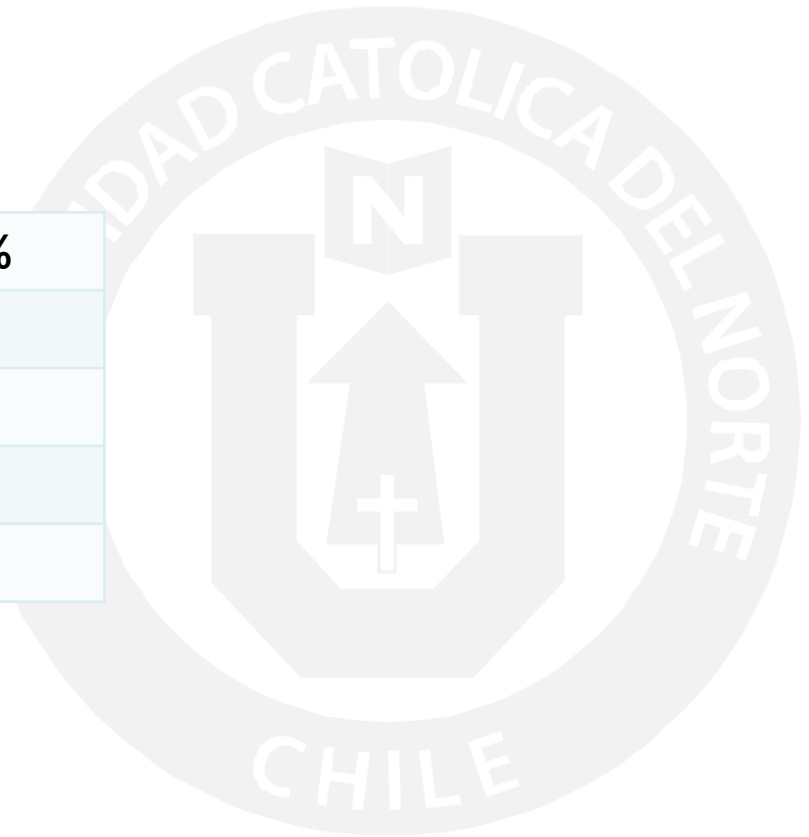
# Eficiencia tecnológica $\eta$



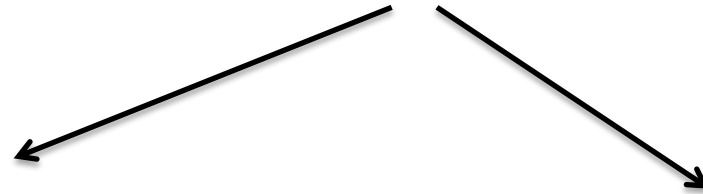
Tamaño de la bomba



Potencia en kWatt	Eficiencia en %
< 3	12 a 30
3 a 7	30 a 60
7 a 15	30 a 75
15>	40 a 90



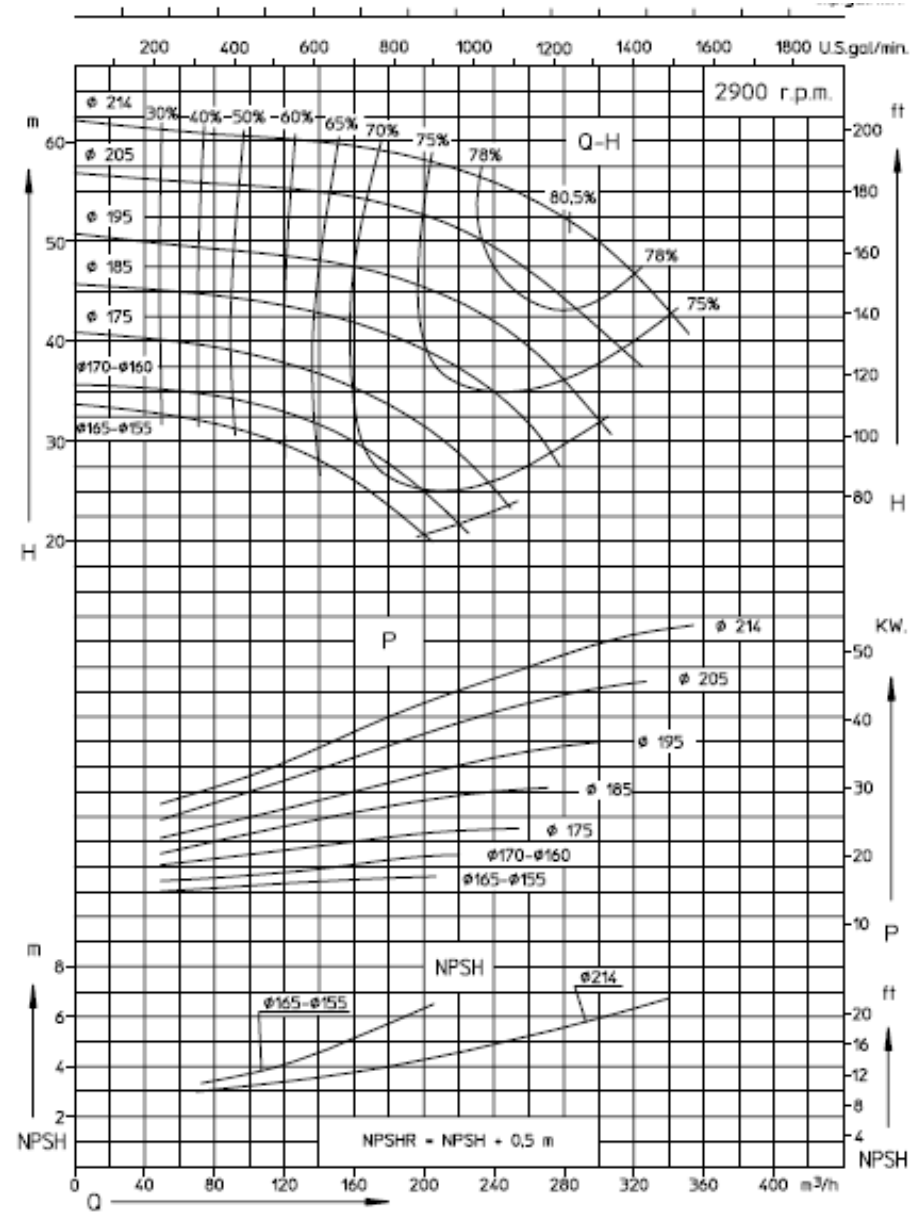
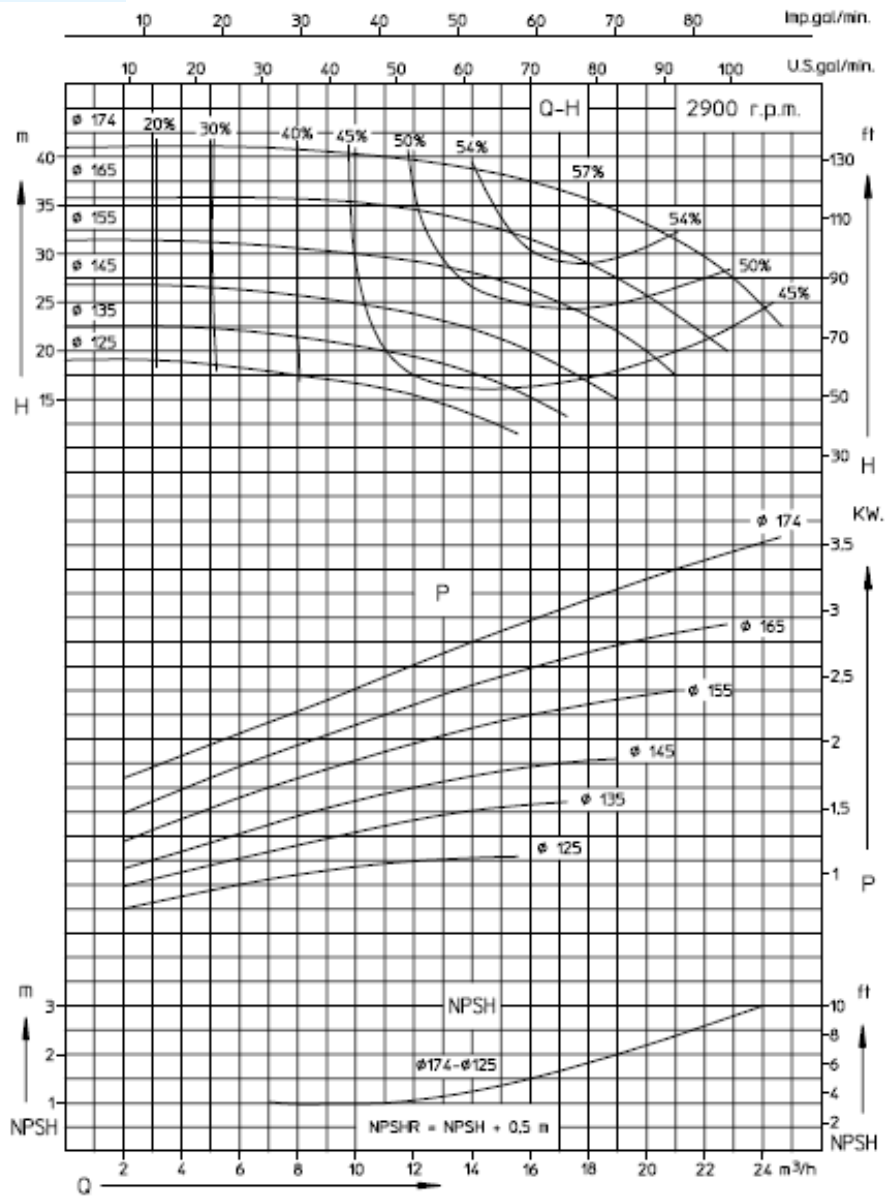
# Eficiencia tecnológica $\eta$

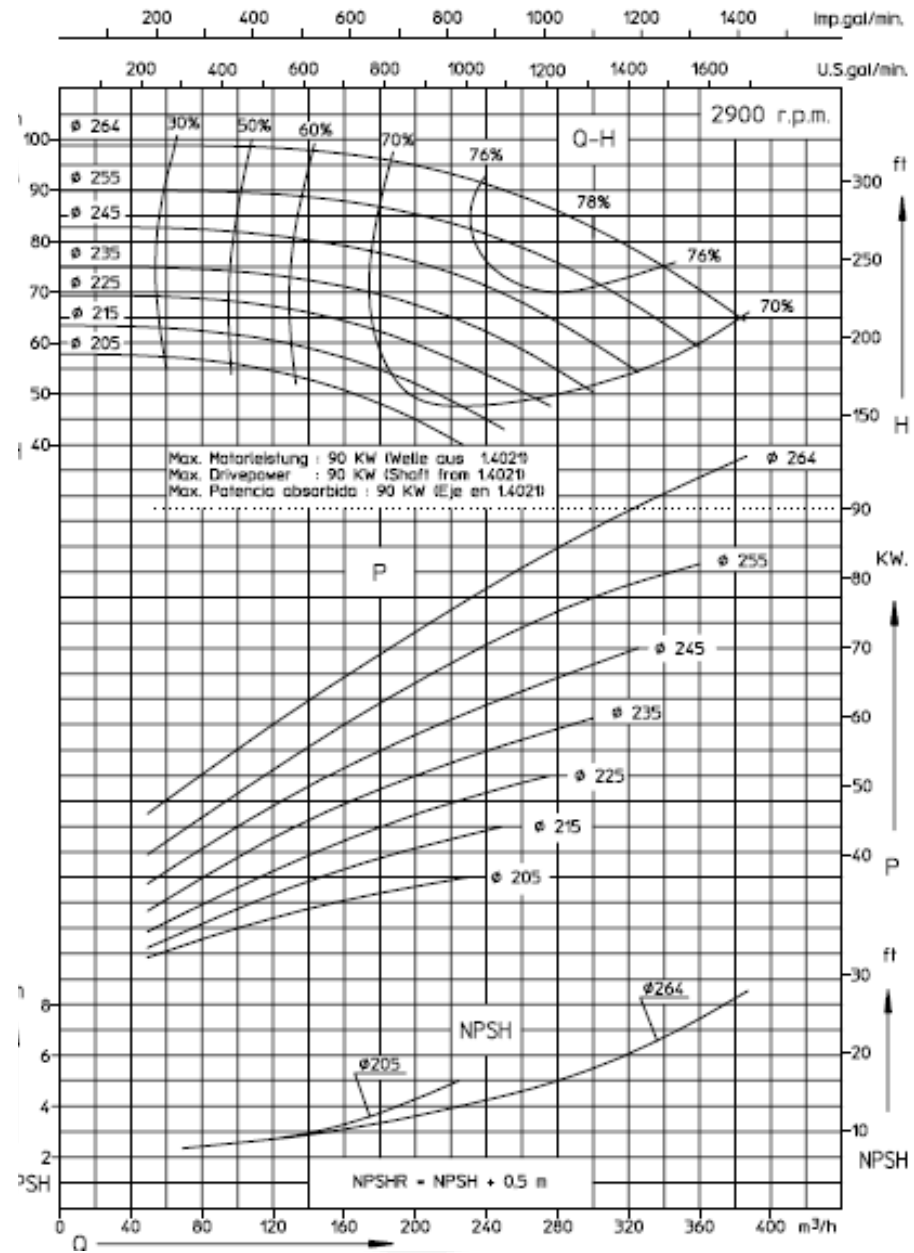
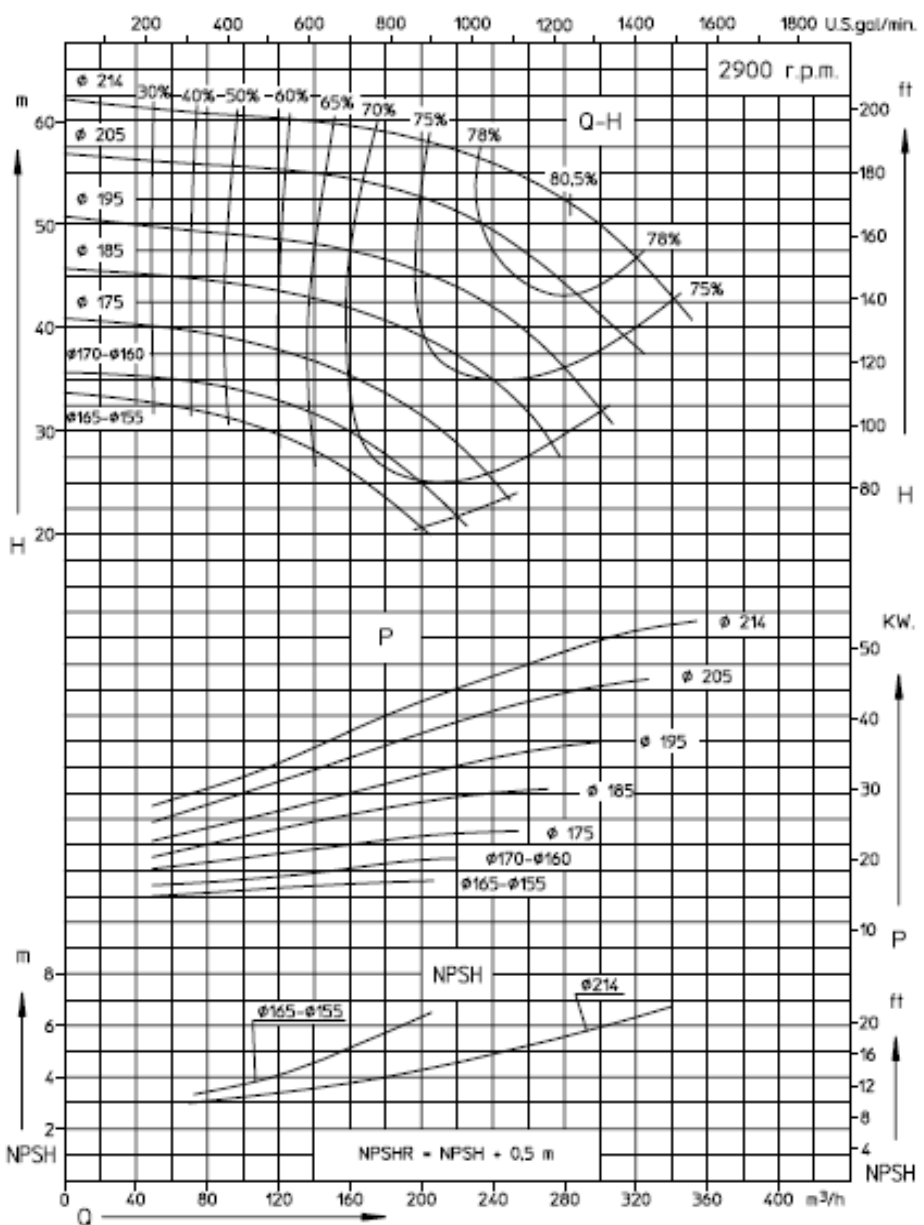


Tamaño de la bomba

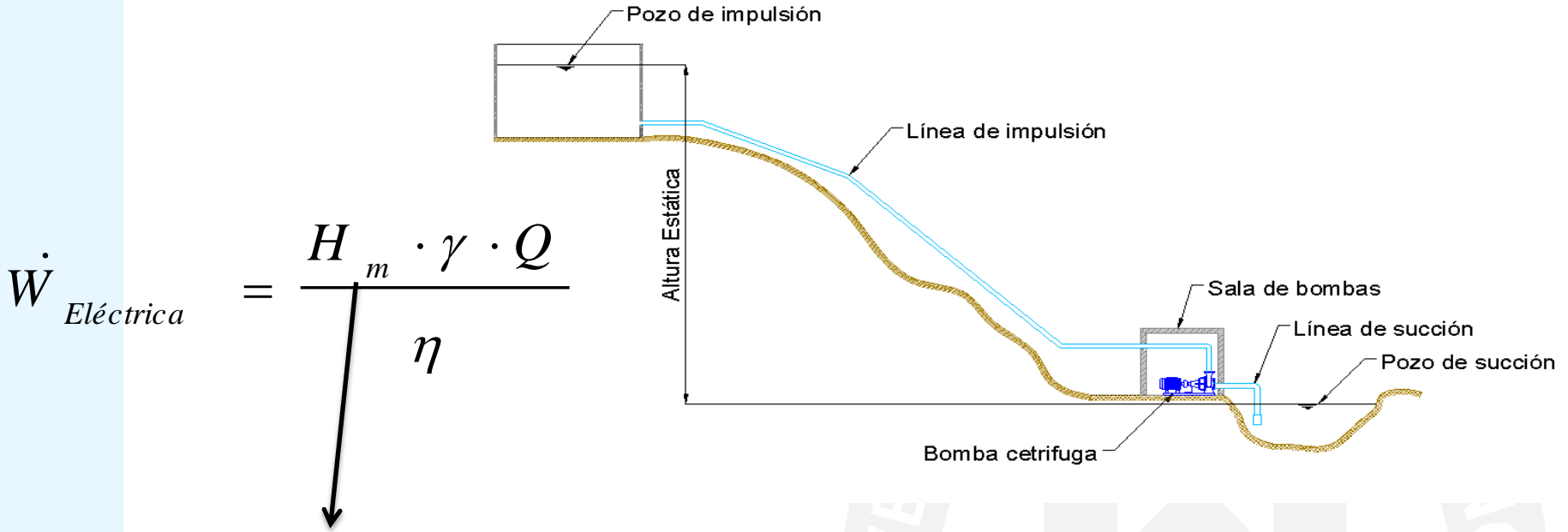
Tipo de tecnología

<b>Bombas Centrifugas</b>	<b>Bombas autocebante</b>
Hasta 90%	Hasta 65%
	





# Altura manométrica $H_m$



$$\dot{W}_{Eléctrica} = \frac{H_m \cdot \gamma \cdot Q}{\eta}$$

$H_m$  = Altura estática + Pérdida de energía por fricción

- Por lo tanto se debe tratar de emplazar las granjas lo mas cercano al nivel del mar, idealmente a cotas no superiores de 15 m sobre el nivel del mar.
- Alturas superiores se debe evaluar el uso de tecnologías de recirculación.
- Para una buena estimación de la perdida de energía por fricción en agua de mar, es vital conocer el comportamiento de la biología del mar.



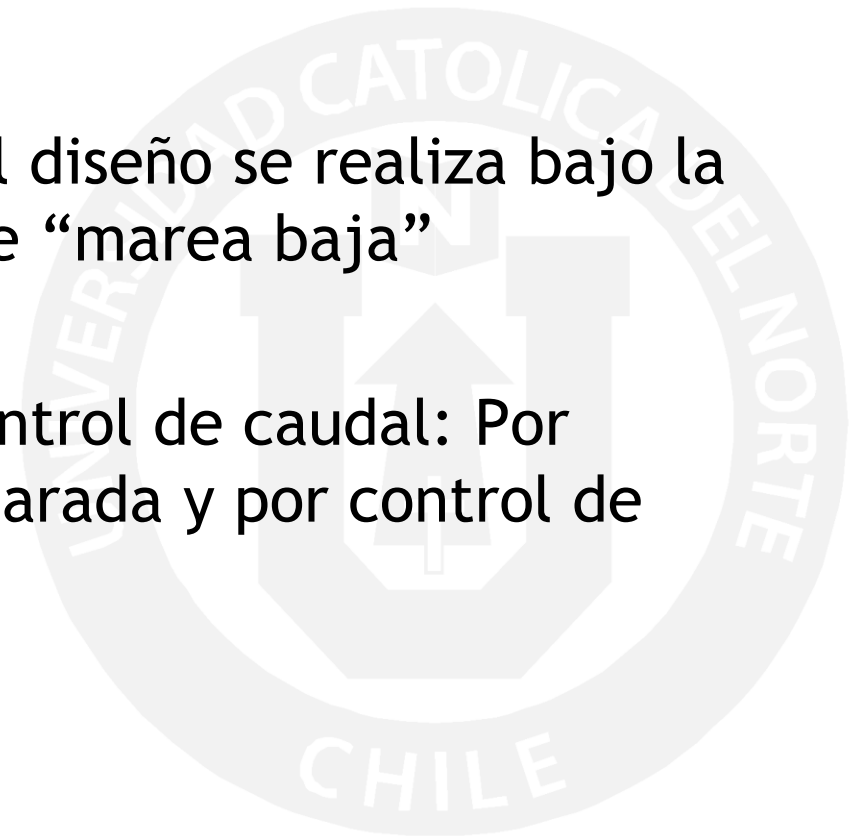




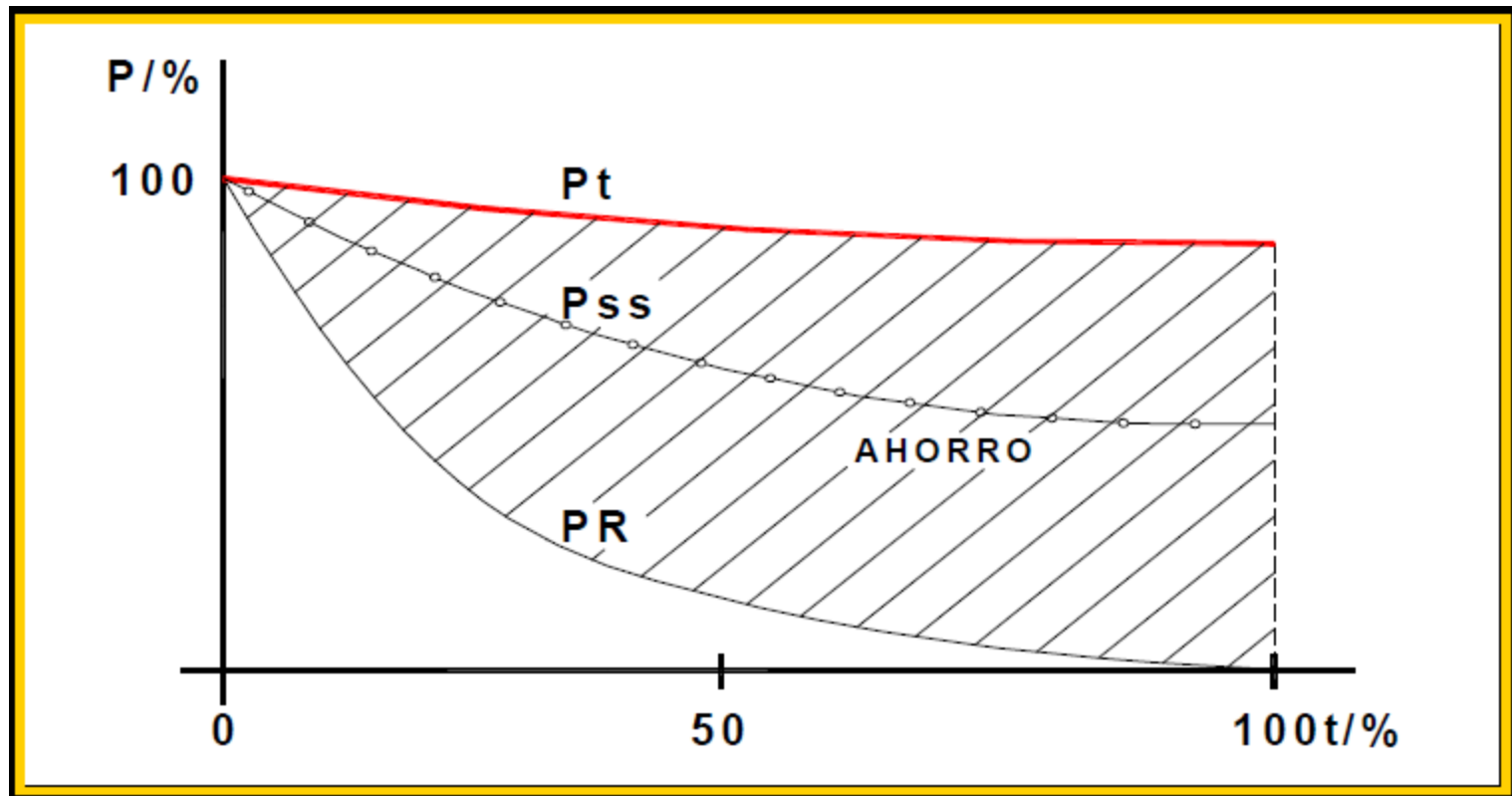


# Control de caudal

- Producto de las variaciones de la mareas, es necesario hacer un control de caudal.
- Lo anterior debido a que el diseño se realiza bajo la condición mas desfavorable “marea baja”
- Existen tres técnicas de control de caudal: Por estrangulación, arranque parada y por control de velocidad de giro



# Relación de ahorro de las distintas formas de control de caudal



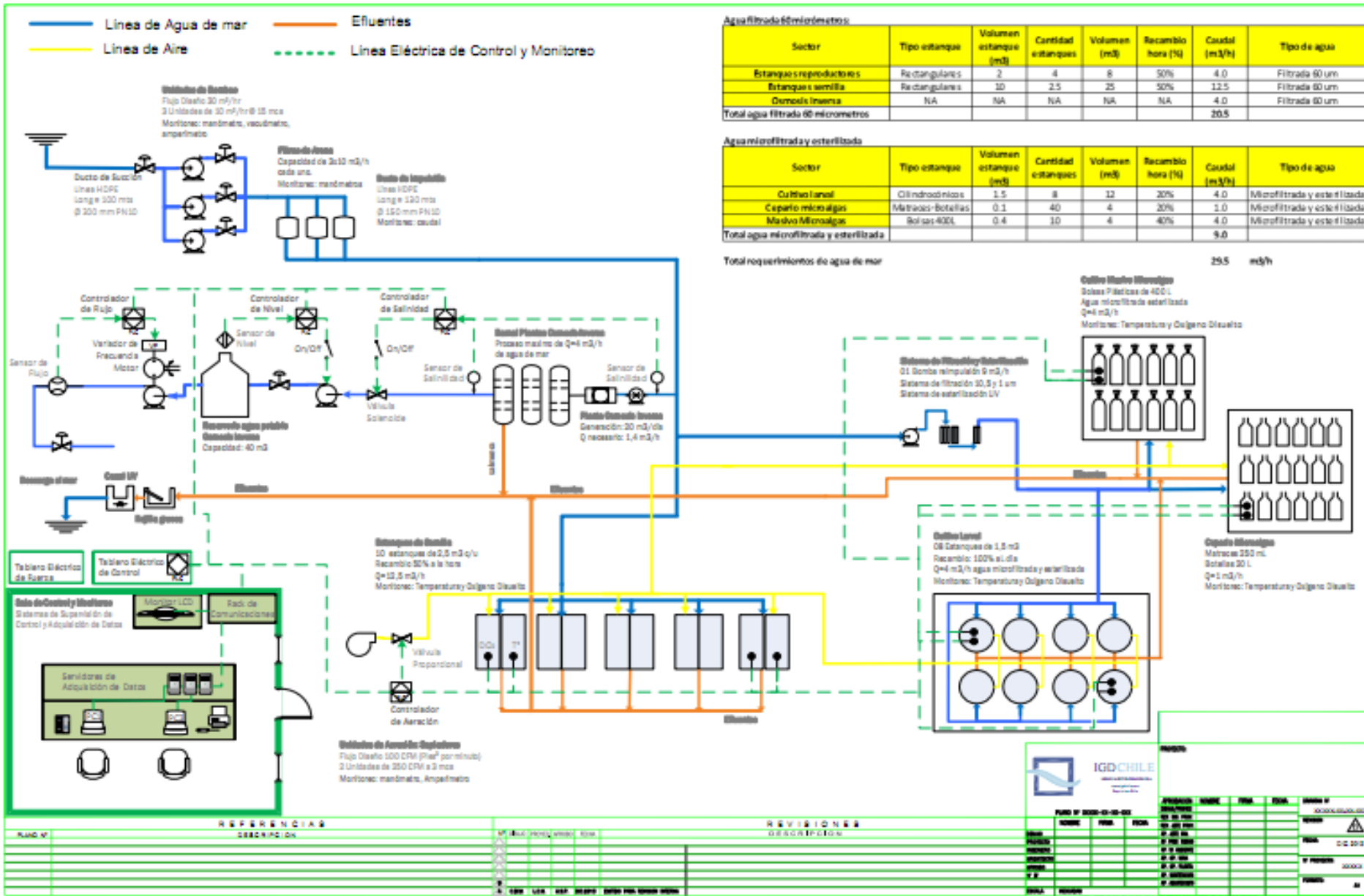
Pt: estrangulamiento  
Pss: arranque parada  
PR: Control de velocidad de giro

# Eficiencia operacional

- Es una relación de la disponibilidad de servicio que entrega el sistema de bombeo.
- En acuicultura debe ser de un 99%
- Para ello se debe analizar cuidadosamente el tipo de sistema de bombeo y en especial el tipo de succión en el cuerpo marítimo:
  - Intake
  - Succión directa
  - Vasos comunicantes etc.



# Energías renovables



## Agua filtrada <math>60\text{ micrometros}</math>

Sector	Tipo estanque	Volumen estanque (m³)	Cantidad estanques	Volumen (m³)	Recambio hora (%)	Caudal (m³/h)	Tipo de agua
Estanques reproductivos	Rectangulares	2	4	8	50%	4.0	Filtrada 60 um
Estanques semilla	Rectangulares	10	2.5	25	50%	12.5	Filtrada 60 um
Demanda Inmensa	NA	NA	NA	NA	NA	4.0	Filtrada 60 um
<b>Total agua filtrada 60 micrometros</b>						<b>20.5</b>	

## Agua microfiltrada y esterilizada

Sector	Tipo estanque	Volumen estanque (m³)	Cantidad estanques	Volumen (m³)	Recambio hora (%)	Caudal (m³/h)	Tipo de agua
Cultivos larval	Cilindricos	1.5	8	12	20%	4.0	Microfiltrada y esterilizada
Cepallo micro algas	Matraces-Botellas	0.1	40	4	20%	1.0	Microfiltrada y esterilizada
Masivo Microalgas	Bolsas-40L	0.4	10	4	40%	4.0	Microfiltrada y esterilizada
<b>Total agua microfiltrada y esterilizada</b>						<b>9.0</b>	

**Total requerimientos de agua de mar**

**29.5 m³/h**

**Cultivos Bivalvos:** Bolsas Plásticas de 40L, Agua microfiltrada esterilizada, Q=4 m³/h, Monitores: Temperatura y O₂, Salinidad, Dureza.

**Sistema de Filtración Ultrafina:** 01 Bomba impulsión 9 m³/h, Sistema de filtración 30,5 y 1 um, Sistema de esterilización UV.

**Cultivos Larval:** 08 Tanques de 1,5 m³, Recambio: 100% al día, Q=4 m³/h agua microfiltrada y esterilizada, Monitores: Temperatura y O₂, Salinidad, Dureza.

**Capacidad Matraces:** Matraces 250 ml, Botellas 20 L, Q=1 m³/h, Monitores: Temperatura y O₂, Salinidad, Dureza.



**REVISIONES**

FECHA	DESCRIPCION	REALIZADO	VALIDADO

**PROYECTO:** SISTEMA DE PRODUCCION DE BIVALVOS EN AGUA DE MAR

**CLIENTE:** S. A. BIVALVOS

**FECHA:** 10/08/2018

**PROYECTO:** 2018-08-10-01

**FECHA:** 10/08/2018

**PROYECTO:** 2018-08-10-01

**FECHA:** 10/08/2018

**PROYECTO:** 2018-08-10-01

**FECHA:** 10/08/2018

# Conclusiones

- Un diseño energéticamente eficiente es fundamental para la viabilidad económica de un centro de cultivo emplazado en tierra.
- Se debe tener presente variables biológicas que impactan las condiciones en el diseño de la hidráulica del proyecto.
- El foco para la selección de las tecnologías debe estar puesto en los costos de operación mas que en los de inversión.