



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Encuentro Universitario del Agua

Agua potable, saneamiento y reuso

Desalación de agua de mar con Energías Renovables

(Proyecto IMPULSA del Instituto de Ingeniería)

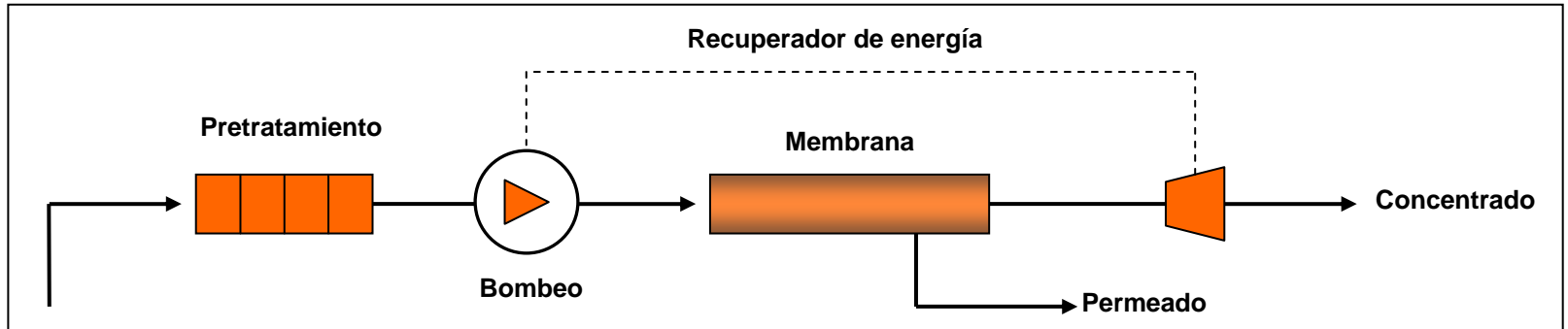
Gerardo Hiriart L

21 / Agosto/06

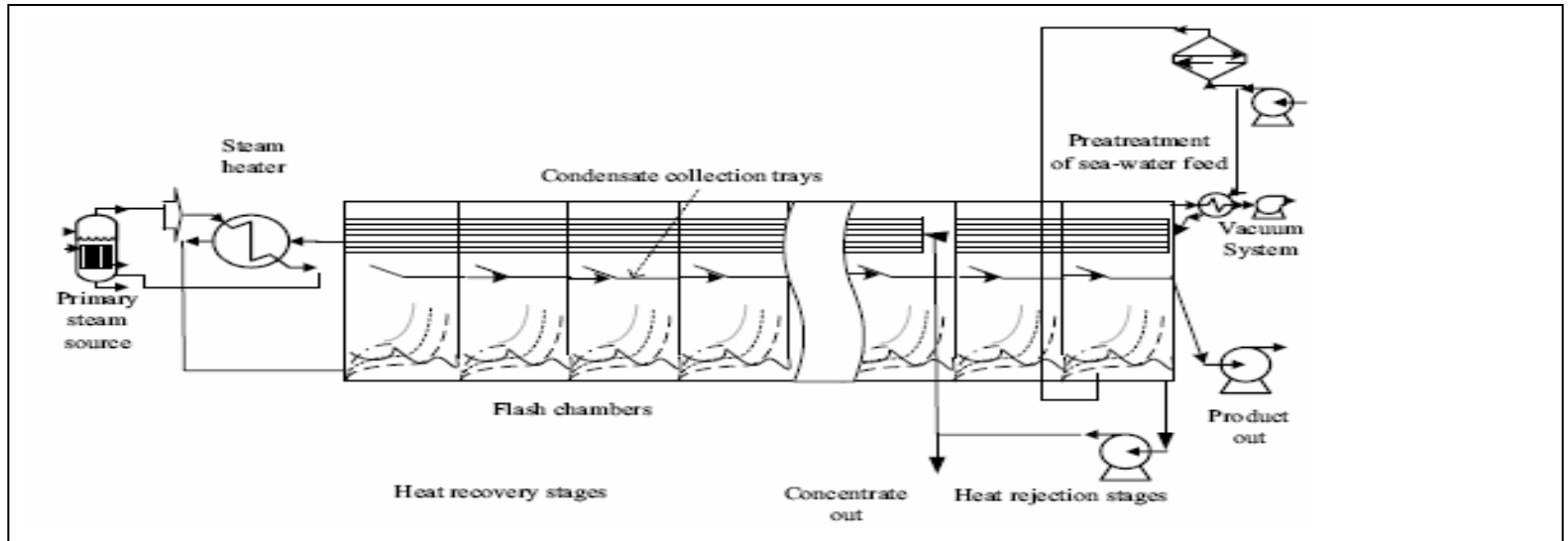
Parte de la Problemática

- Mala distribución (Abundante en el Sureste, escasa en el Noroeste y en el altiplano)
- Agotamiento de acuíferos (Sobre explotación de aguas subterráneas en 14 Estados)
- Intrusión salina en acuíferos junto al mar (Baja California, BCS, Sonora, Sinaloa, Guerrero)
- Incremento del consumo urbano (Tijuana, Ensenada, Hermosillo, Ixtapa, etc)
- Desarrollo de zonas hoteleras donde hay poca agua (Cozumel, Isla Mujeres, Los Cabos, etc)

Osmosis Inversa



Procesos térmicos (Destilación)



Comparación de Tecnologías

- **Osmosis Inversa**
(Alto consumo de
Energía Eléctrica)

**15 MW para 1m³/seg para
300 000 personas**

Inversión.....20%
Electricidad...50%
O&M.....20%
Rep. Memb...10%

Producto 500 ppm
Costo..\$8/m³

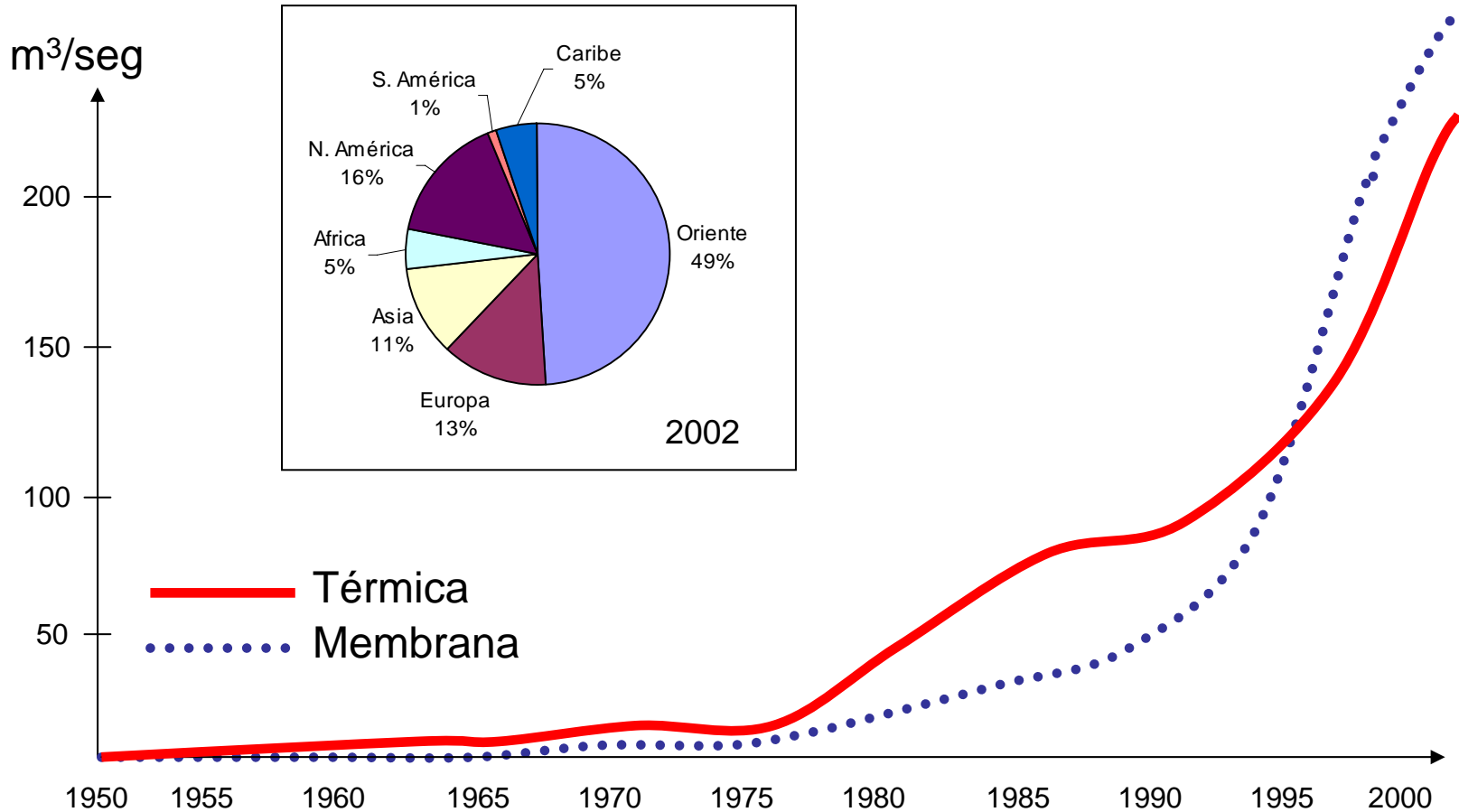
- **Térmicos**
(Consumo de vapor
y/o calor y energía
eléctrica)

**400 ton/hora de vapor para
1m³/seg más 3 MW de
bombas**

Inversión...30%
Vapor y Elec. 50%
O&M.....20%

Producto..10 ppm
Costo \$ 8/m³

Capacidad de desalación instalada (m^3/seg)





Shoiba Power & Desalination Plant, Phase 2



Fuairah Water & Power Plant



Encontrar la forma más económica y práctica de incorporar las Energías Renovables a la desalación

Proyecto IMPULSA

Objetivo

- Fomentar investigación a mediano y largo plazo
- Promover incorporación de estudiantes de doctorado
- Fomentar actividades multidisciplinarias
- Promover proyectos que aporten soluciones a problemas nacionales
- Promover colaboración con instituciones y organismos nacionales e internacionales

Condiciones:

- Participación de cuatro entidades universitarias (una Facultad)
- Contar con coordinador académico
- 3 años de duración mínima
- Ser aprobada por el Consejo Técnico de la Investigación Científica

Esquema básico de la organización del proyecto

A. Grupo experto en desalación.

Consolidación de un grupo que conozca todas las tecnologías y sea capaz de comparar con fundamentos las alternativas

B. Desarrollo de nuevas tecnologías para desalar con energías renovables en nichos específicos

C. Disponibilidad de energías renovables para apoyar directa o indirectamente la desalación

D. Mapa de desarrollo tecnológico de desalación y temas de investigación básica

Puntos costeros con manifestaciones termales

Punta Banda

Puertecitos

Santispac

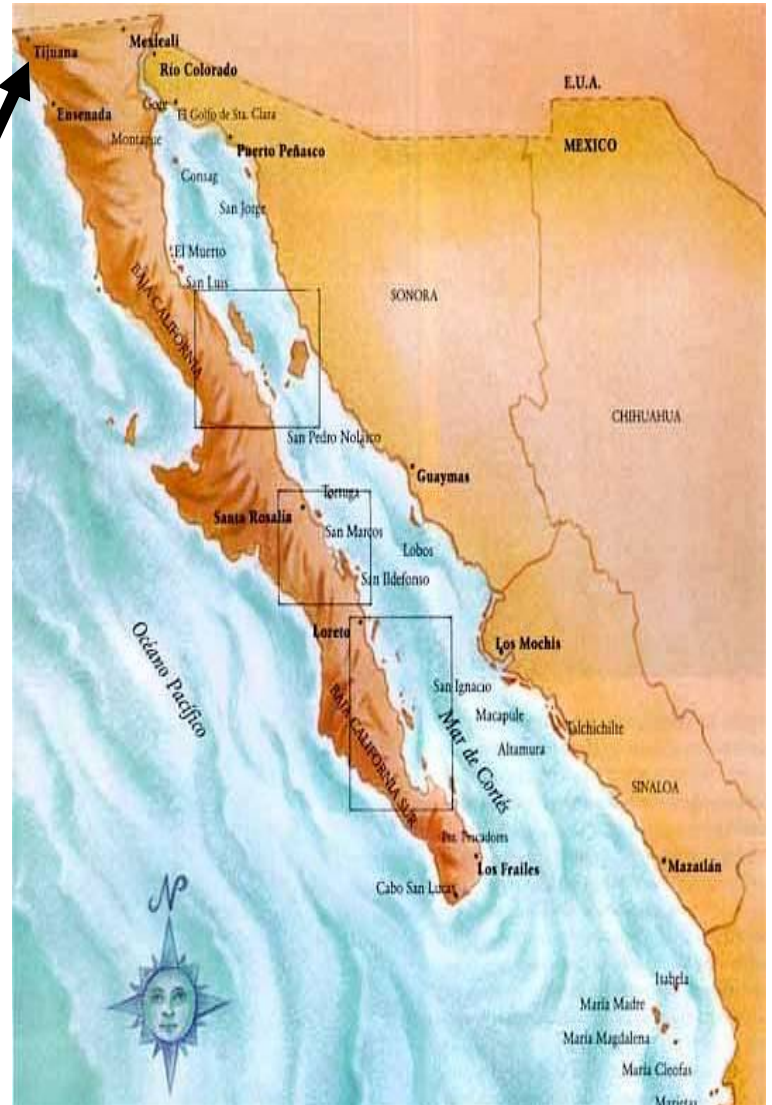
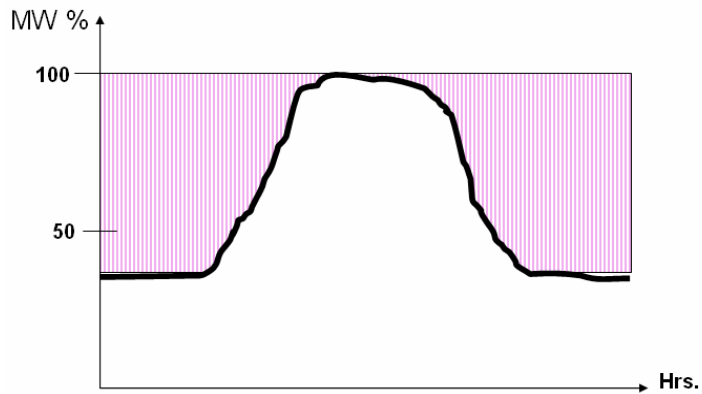
La Paz

Los Cabos



Cogeneración con desalación

Termoeléctrica de Rosarito



Agua salobre y
buenos vientos



Excelente radiación
solar directa



Peculiaridades del País

Algunos puntos que
pronto requerirán
desalacion de agua





Años

2006

INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

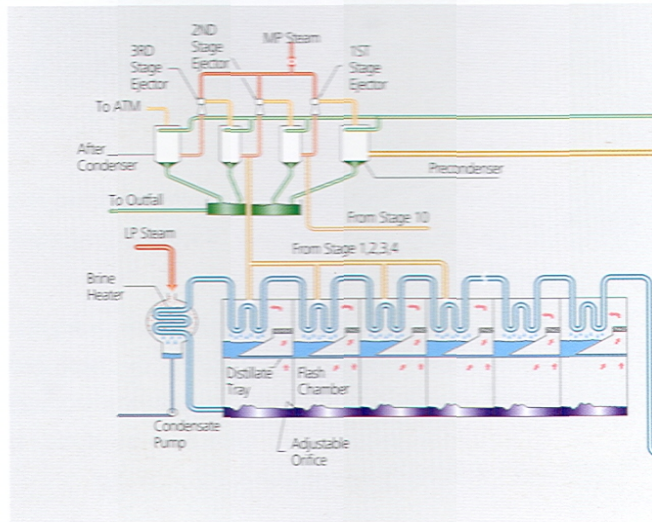


Ventilas hidrotermales profundas

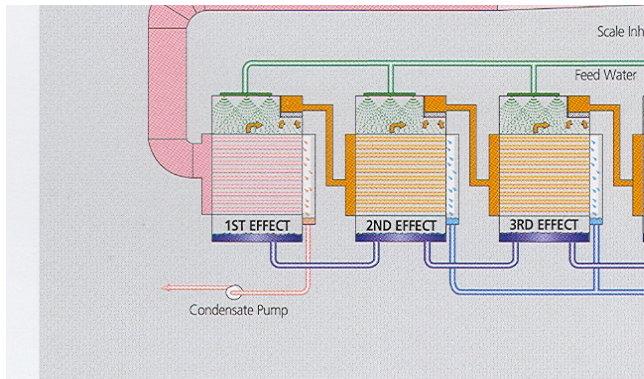


A. Grupo experto en desalación.

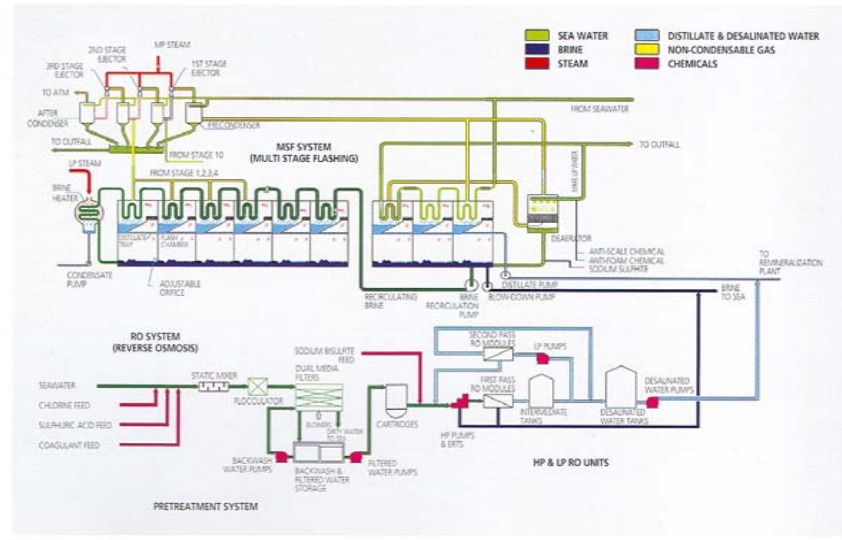
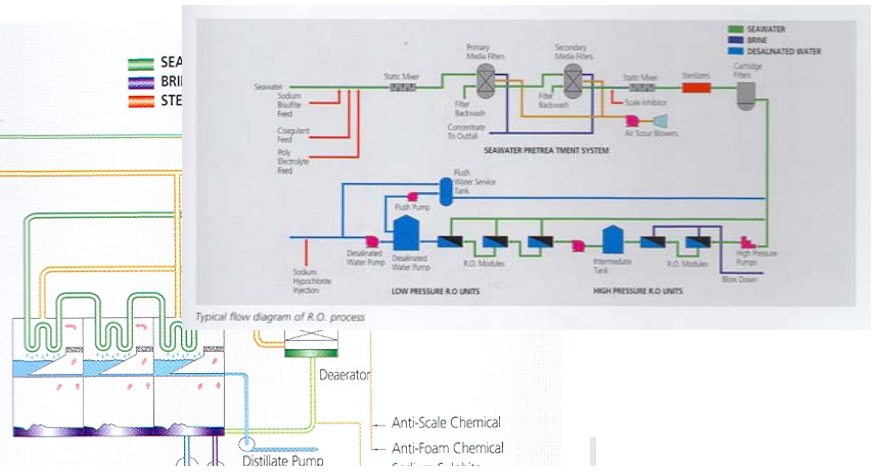
Consolidación de un grupo que conozca todas las tecnologías y sea capaz de comparar numéricamente las alternativas



Typical flow diagram of MSF (Recirculation) process (Brine recirculation type)



Typical flow diagram of MED-TVC



Hybrid Process Type

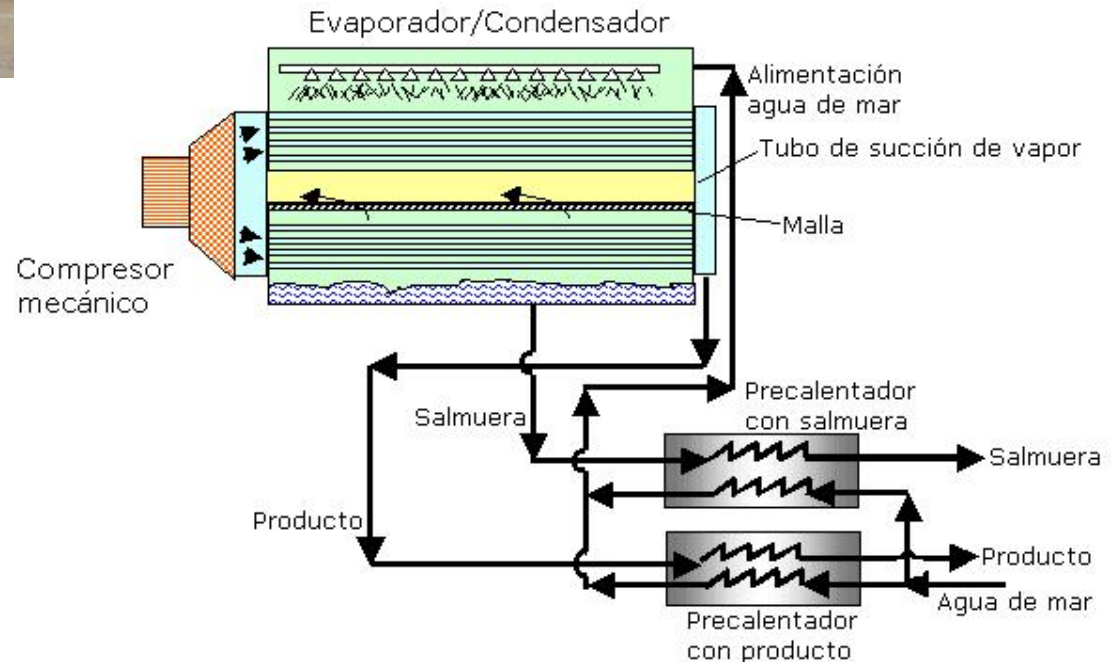
Compresión Mecánica de Vapor



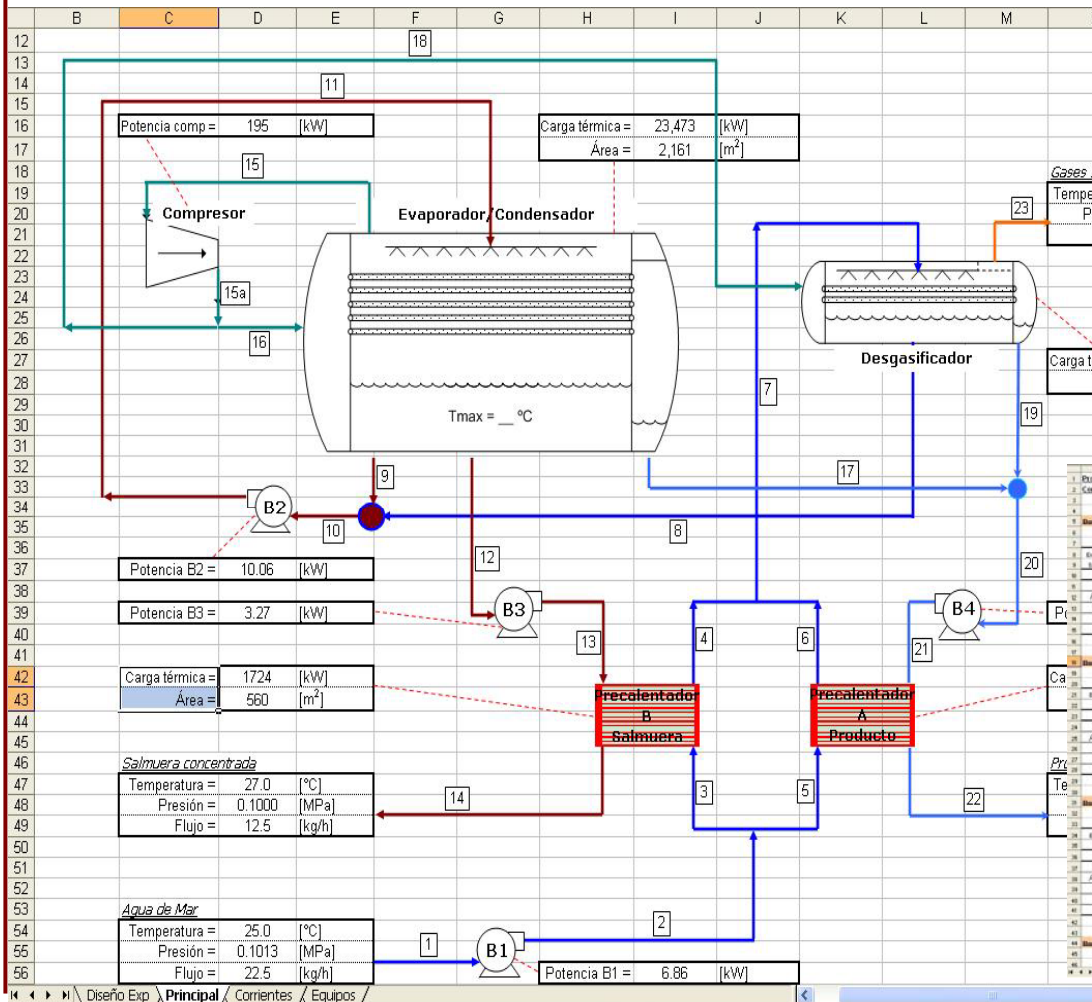
El proceso de Compresión Mecánica de Vapor se propone para gastos menores. Ej: comunidades pequeñas, centrales termoeléctricas, etc.

Se obtienen valores de recuperación altos

Opera $50 < T < 110$ °C



Modelo de simulación Diagrama de Flujo de Proceso



Corriente	Q [kg/h]	X _{NaCl} [ppm]	T [°C]	P _{abs} [MPa]	h [kJ/kg]	Estado
1	81,000	35,000	25	0.1013	104.9	liq mar
2	81,000	35,000	25	0.3513	105.2	liq mar
3	40,500	35,000	25	0.3513	105.2	liq mar
4	40,500	35,000	58.9	0.2513	246.6	liq mar
5	40,500	35,000	25	0.3513	105.2	liq mar
6	40,500	35,000	58.9	0.2513	246.6	liq mar
7	81,000	35,000	58.9	0.2513	246.6	liq mar
8	81,000	35,000	60.9	0.0700	254.8	liq mar
9	144,000	63,000	60	0.0700	251.2	liq salm
10	225,000	52,920	60	0.0700	252.5	liq salm
11	225,000	52,920	60	0.2000	252.6	liq salm
12	45,000	63,000	60	0.0700	251.2	liq salm
13	45,000	63,000	60	0.2000	251.3	liq salm
14	45,000	63,000	27	0.1000	113.4	liq salm
15	36,000	0	60	0.0199	2,608.8	vap sat
16	36,000	0	68.9	0.0222	2,625.8	vap sc
17	35,712	0	69	0.0222	2,625.8	vap sc
18	288	0	62	0.0219	259.6	liq prod
19	288	0	62	0.0219	259.6	liq prod
20	36,000	0	62	0.0219	259.6	liq prod
21	36,000	0	62	0.5282	260.0	liq prod
22	36,000	0	27	0.4282	113.7	liq prod
23						gnc

*Se debe iterar con este valor hasta que los balances de energía cuadren en los intercambiadores A y B

	C caliente	C fría	Error
CondEvas	23,473.2	23,473.8	0.00%
IntA	1402.8	1591.4	-8.79%
IntB	1724.2	1591.4	7.76%
Desgas	189.3	185.2	2.17%

s = 7.9081 [kJ/kgK]
W_{total} = 193.71 [kW]
0.0222

correcto Verificador de balance de masa

1. Parámetros de los corrientes de proceso
2. Compresión Mecánica de Vapor

Corriente	T [°C]	P _{abs} [MPa]	h [kJ/kg]	Estado
1	25	0.1013	104.9	liq mar
2	25	0.3513	105.2	liq mar
3	25	0.3513	105.2	liq mar
4	58.9	0.2513	246.6	liq mar
5	25	0.3513	105.2	liq mar
6	58.9	0.2513	246.6	liq mar
7	58.9	0.2513	246.6	liq mar
8	60.9	0.0700	254.8	liq mar
9	60	0.0700	251.2	liq salm
10	60	0.0700	252.5	liq salm
11	60	0.2000	252.6	liq salm
12	60	0.0700	251.2	liq salm
13	60	0.2000	251.3	liq salm
14	27	0.1000	113.4	liq salm
15	60	0.0199	2,608.8	vap sat
16	68.9	0.0222	2,625.8	vap sc
17	69	0.0222	2,625.8	vap sc
18	62	0.0219	259.6	liq prod
19	62	0.0219	259.6	liq prod
20	62	0.0219	259.6	liq prod
21	62	0.5282	260.0	liq prod
22	27	0.4282	113.7	liq prod
23				gnc

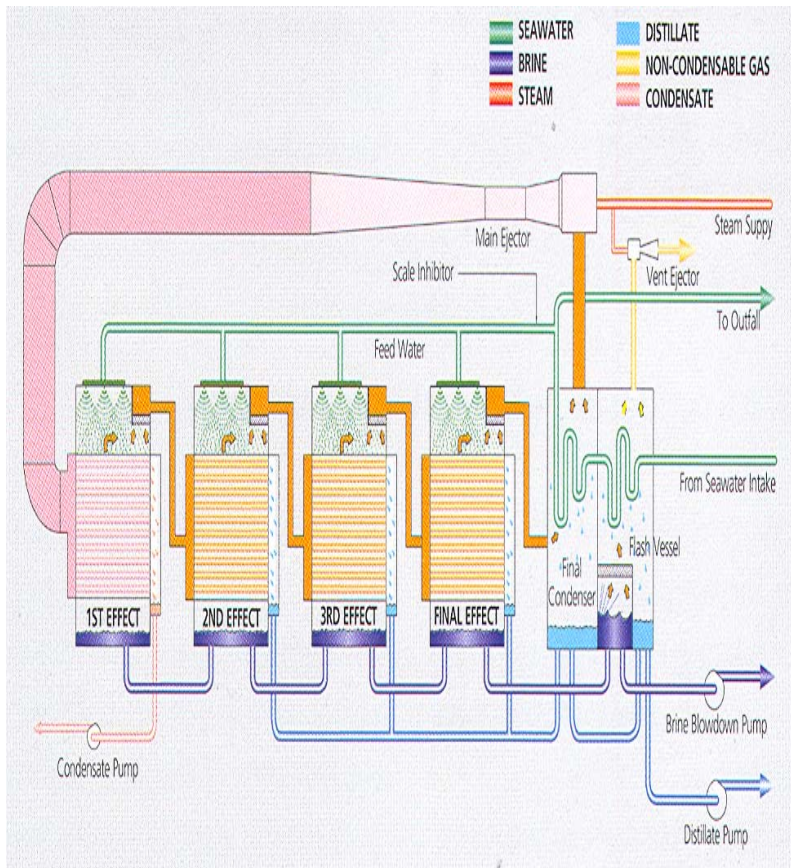
Calcular de sección, eficiencia y Coeficiente global de transferencia de calor

Intercambiador	U [W/m²K]	A [m²]	Q [kW]	η
IntA	1000	560	1724.2	0.85
IntB	1000	560	1591.4	0.85

Calcular de sección, eficiencia y Coeficiente global de transferencia de calor

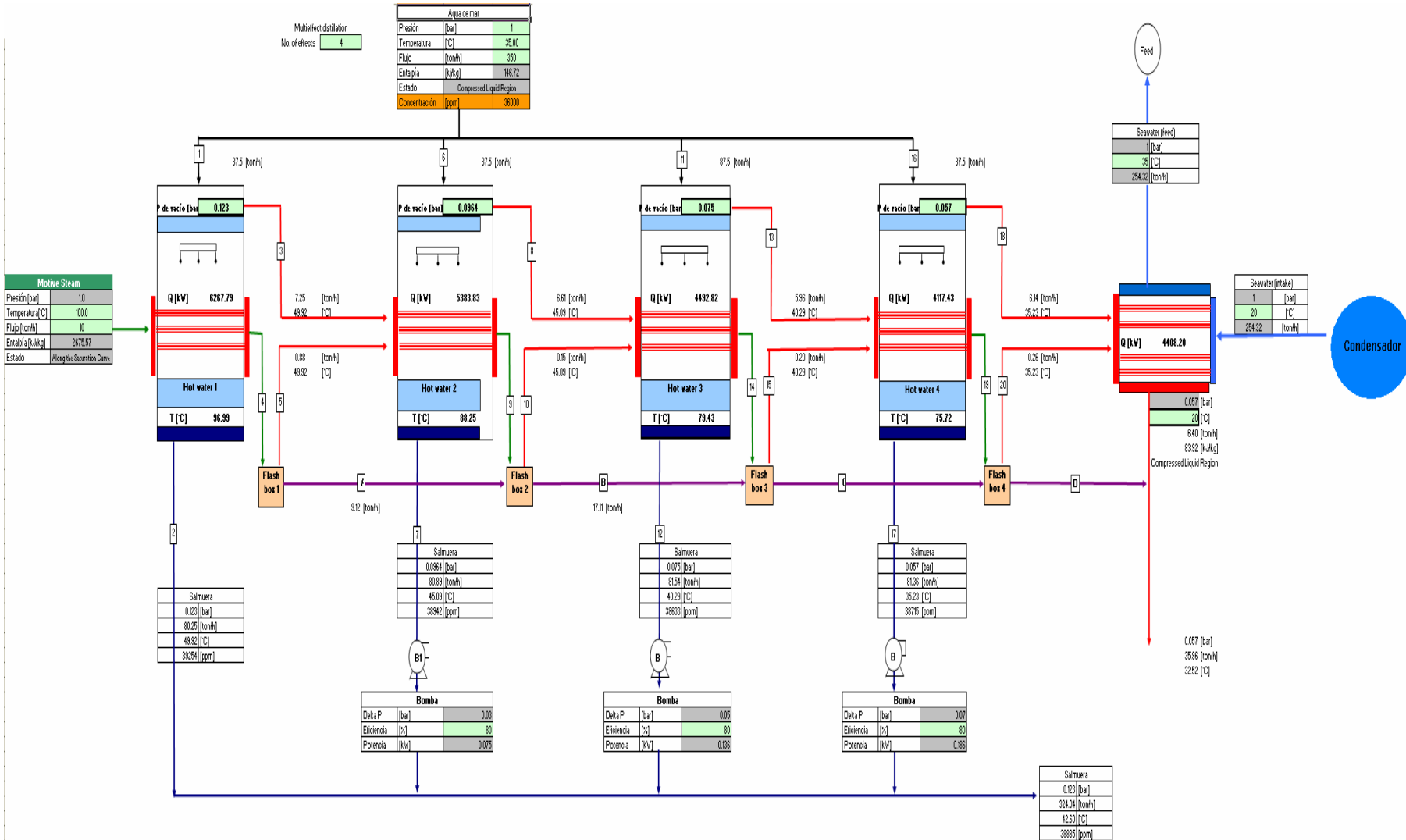
Intercambiador	U [W/m²K]	A [m²]	Q [kW]	η
IntA	1000	560	1724.2	0.85
IntB	1000	560	1591.4	0.85

Desalación de agua con Destilación Multi Efecto (MED)

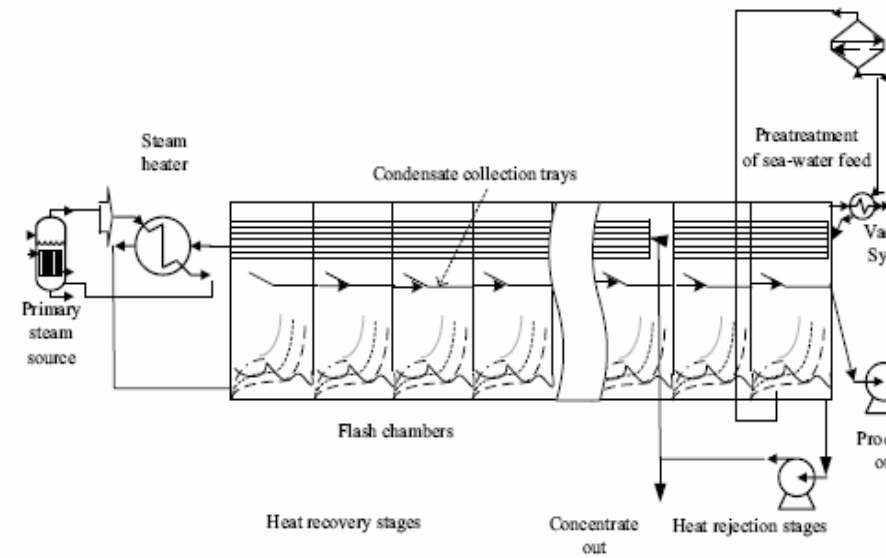


MED Evaporator for Benghazi North CCPP0.55MIGD

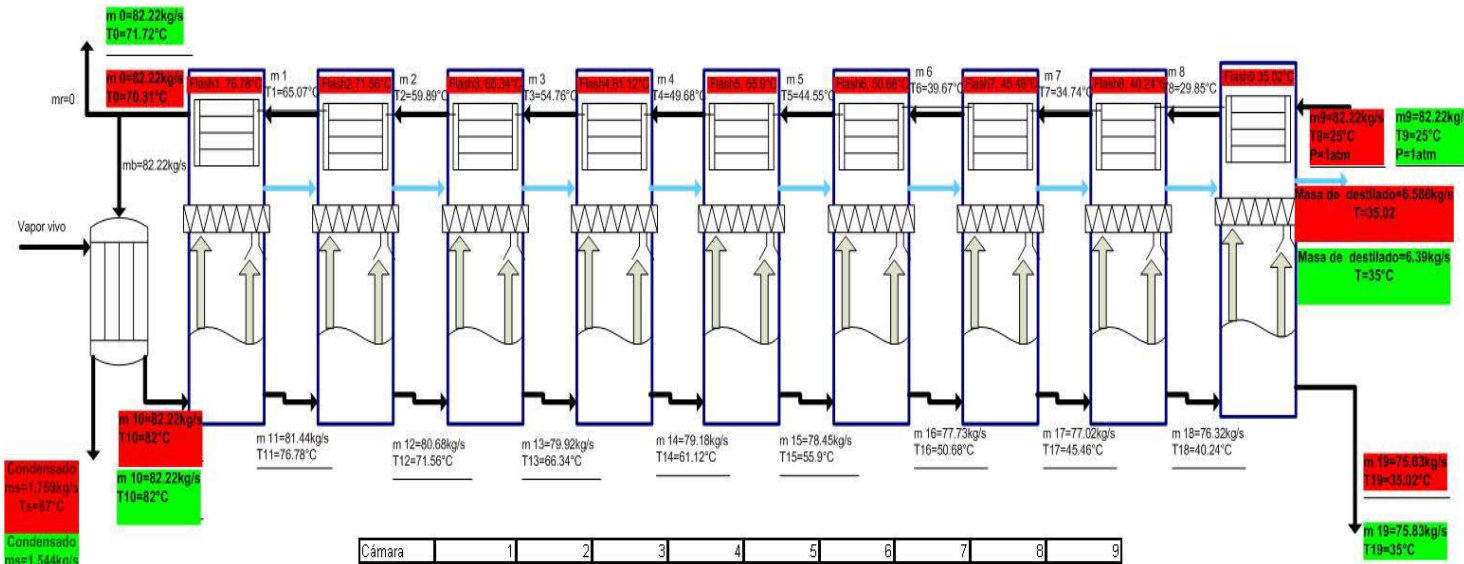
Programa de simulación desarrollado



Múltiple Flasheo



Programa de simulación desarrollado (MSF)



Condensado
m=1.750kg/s
T=87°C

Condensado
m=1.544kg/s
T=87°C

m 10=82.22kg/s
T10=82°C

h1(65.07°C)	272.4
h2(59.89°C)	250.7
h3(54.76°C)	229.3
h4(49.68°C)	208.1
h5(44.65°C)	187
h6(39.67°C)	166.2
h7(34.74°C)	145.6
h8(29.85°C)	125.1
h9(25°C)	104.8

Cámara	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U	1.97	1.958	1.944	1.93	1.914	1.897	1.879	1.861	1.843
Acon, m²	103.7	103.1	103.5	104.6	106.4	109.2	112.8	117.5	123.4
hg (KJ/Kg)	2638	2629	2620	2611	2602	2592	2583	2574	2564
hf (KJ/Kg)	321.4	299.5	277.7	255.8	234	212.2	190.3	168.5	149.7

$$m_0 = m_1 = m_{10} = 82.22 \frac{kg}{s}$$

$$m_{19} = 75.63 \frac{kg}{s}$$

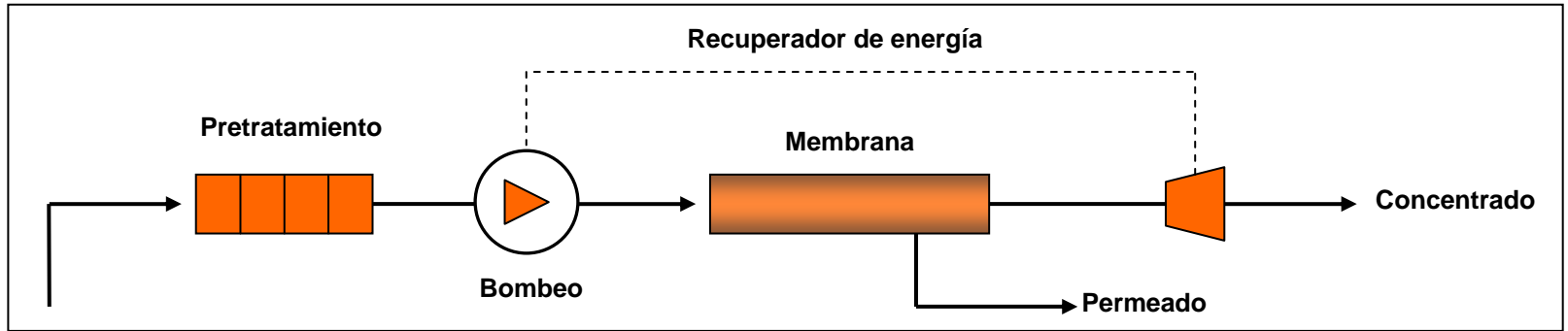
$$m_d = 6.586 \frac{kg}{s} = md1 + md2 + \dots + md9$$

$$X_{21} = X_{11} \left(\frac{m_{10}}{m_{19}} \right) = 0.035 \left(\frac{82.22}{75.63} \right) = 0.03805$$

**DATOS
DE
MODELO**

**DATOS
DE
PLANTA ROSARITO**

Osmosis Inversa





Años

2006

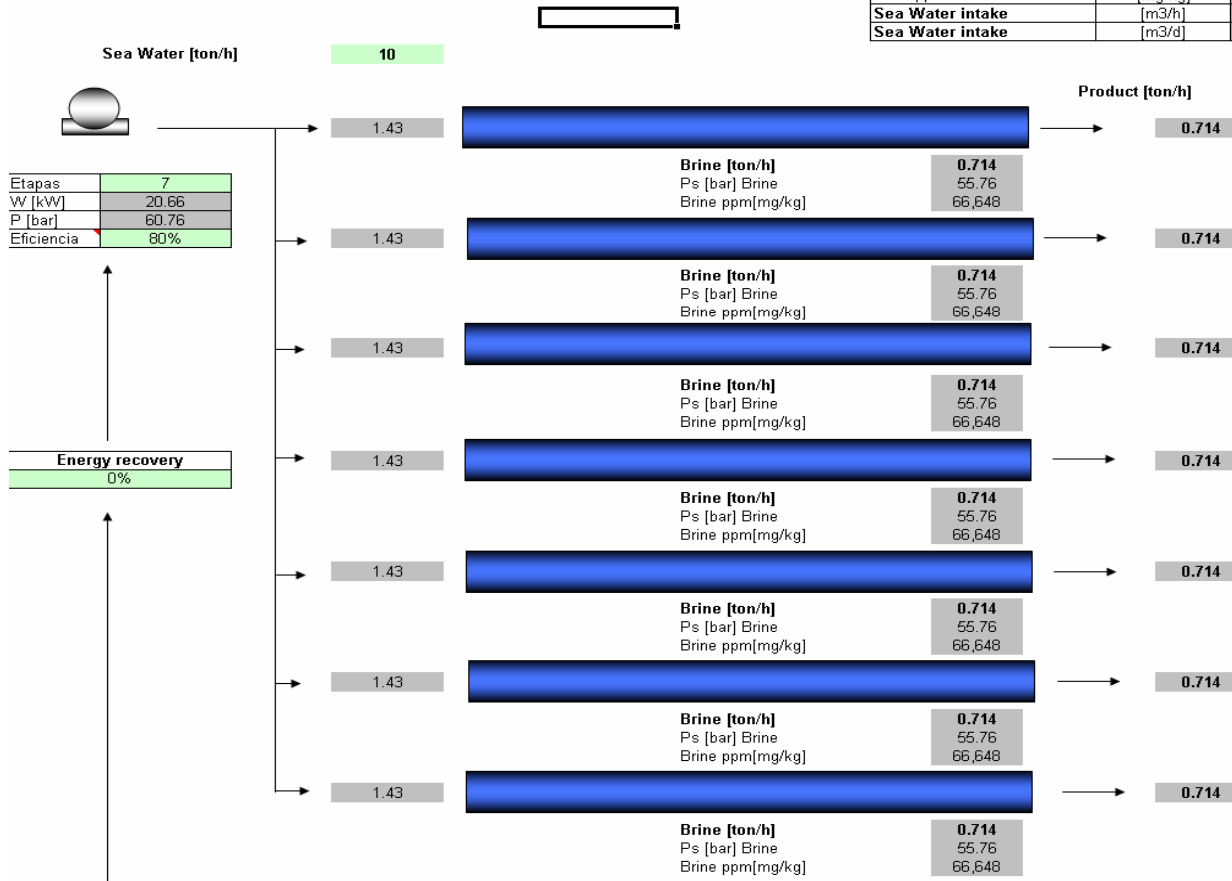
INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

	ppm[mg/kg]	p.a[g/mol]	C[mol/l]
Na	10,770	23.0	0.4783
Cl	19,500	35.5	0.5616
Mg	1,290	24.3	0.0542
S	905	32.1	0.0288
Ca	412	40.1	0.0105
K	380	39.1	0.0099
Br	67	79.9	0.0009

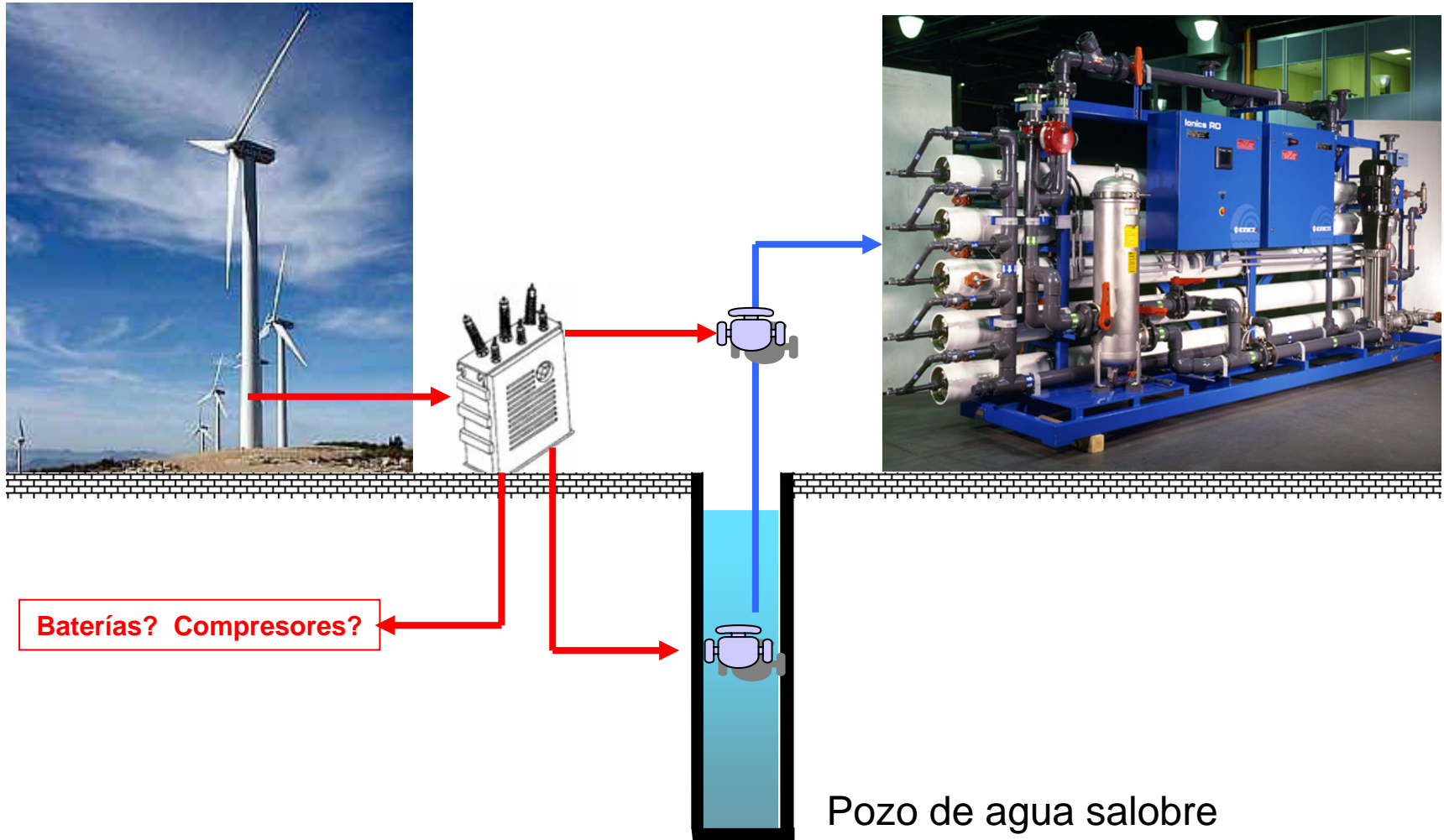
ppm[mg/kg]	33,324
Densidad[kg/m3]	1,021
Temperatura [°C]	24
C[mol/l]	1.14
R[l bar/K mol]	0.082
Ps [bar] S.W	27.88

Salt rejection	99%
Water recovery ratio	0.5
Over pressure [bar]	5

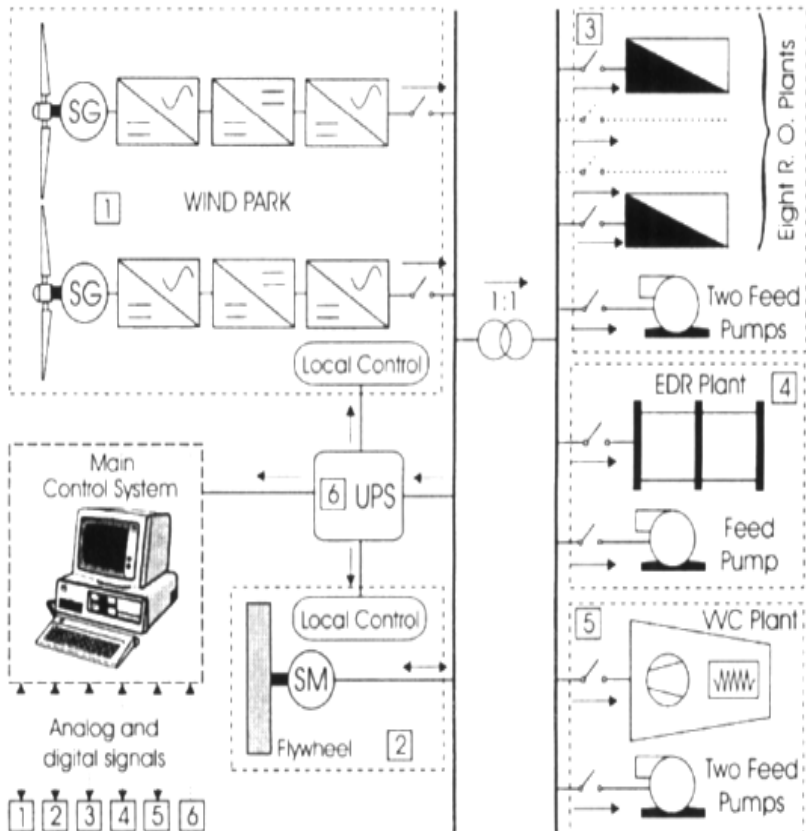
consumo energético	[kWh/m3]	4.22
Costo energía	[c\$/kWh]	4
consumo energético	[\$/m3]	0.1688
Distancia de la membrana	[m]	8
Area efectiva	[m ² /membrana]	35
membrane permeability	[m3/m2 s kPa]	3.13E-09
Longitud optima membrana	[m]	0.62
Longitud total membrana	[m]	4.31
Capacidad de la planta	[m ³ /d]	117.5
Total Product	[ton/h]	5.000
Product ppm	[mg/kg]	666.48
Total Brine	[ton/h]	5.000
Ps Brine	[bar]	55.76
Brine ppm	[mg/kg]	66,648
Sea Water intake	[m3/h]	9.79
Sea Water intake	[m3/d]	235.1

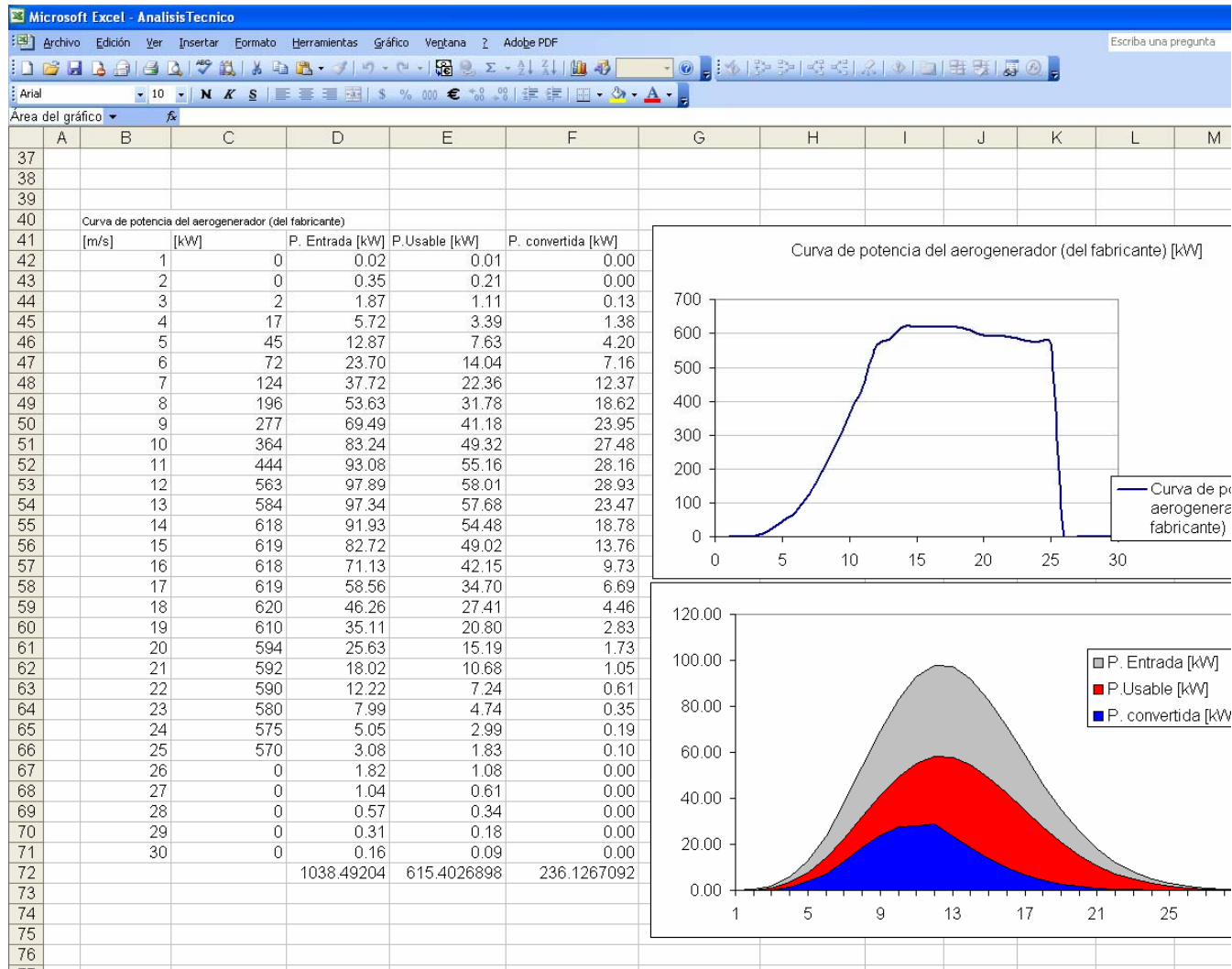


Sistema independiente de la red eléctrica para desalar agua salobre de pozos

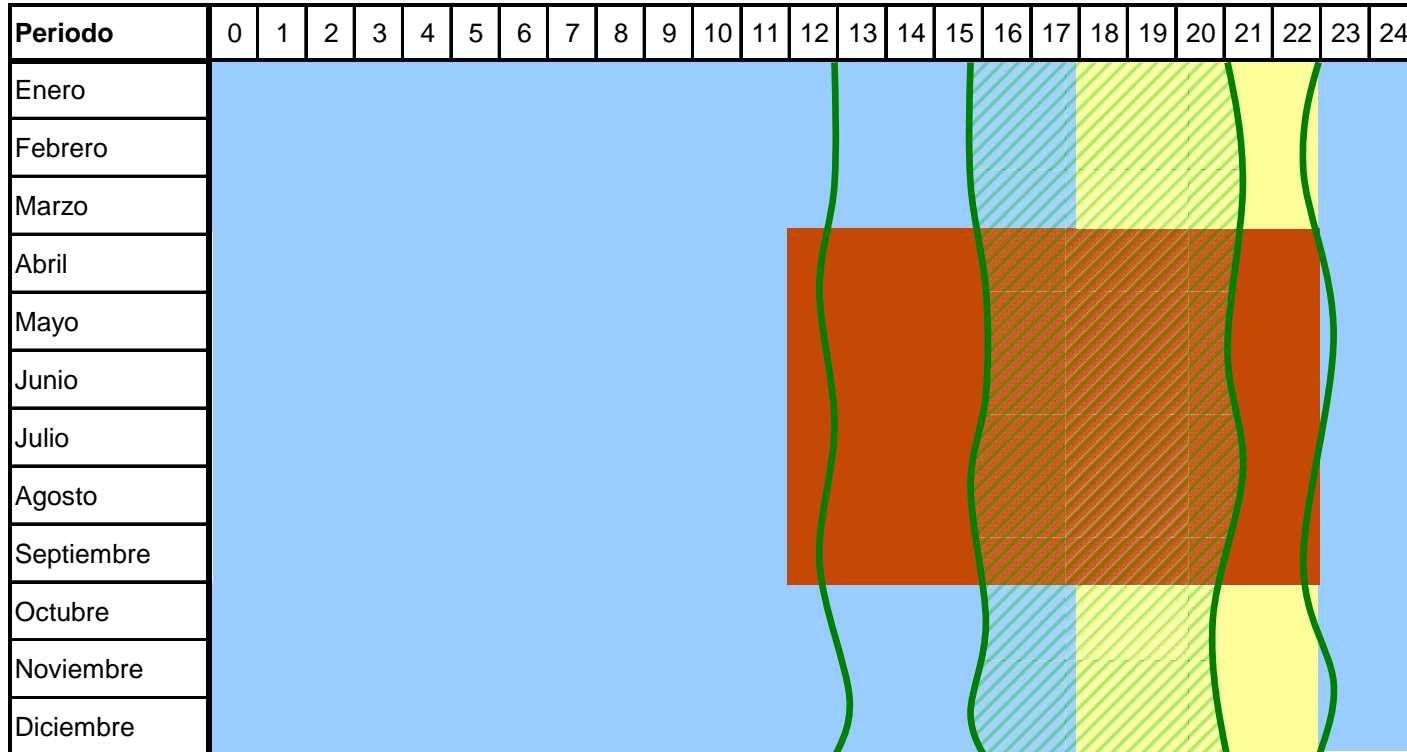





Desalación de agua de agua con energía eólica





Eólico (Ahorro de energía eléctrica) Caso La Paz



	Base	0.57 M.N \$/kWh + IVA
	Intermedio	0.81 M.N \$/kWh + IVA
	Punta	1.70 M.N \$/kWh + IVA

Estudiar el **costo evitado** de la generación complementaria con energía eólica y evaluar subsidio necesario.

Demanda fija mensual **150** M.N \$/kW + IVA

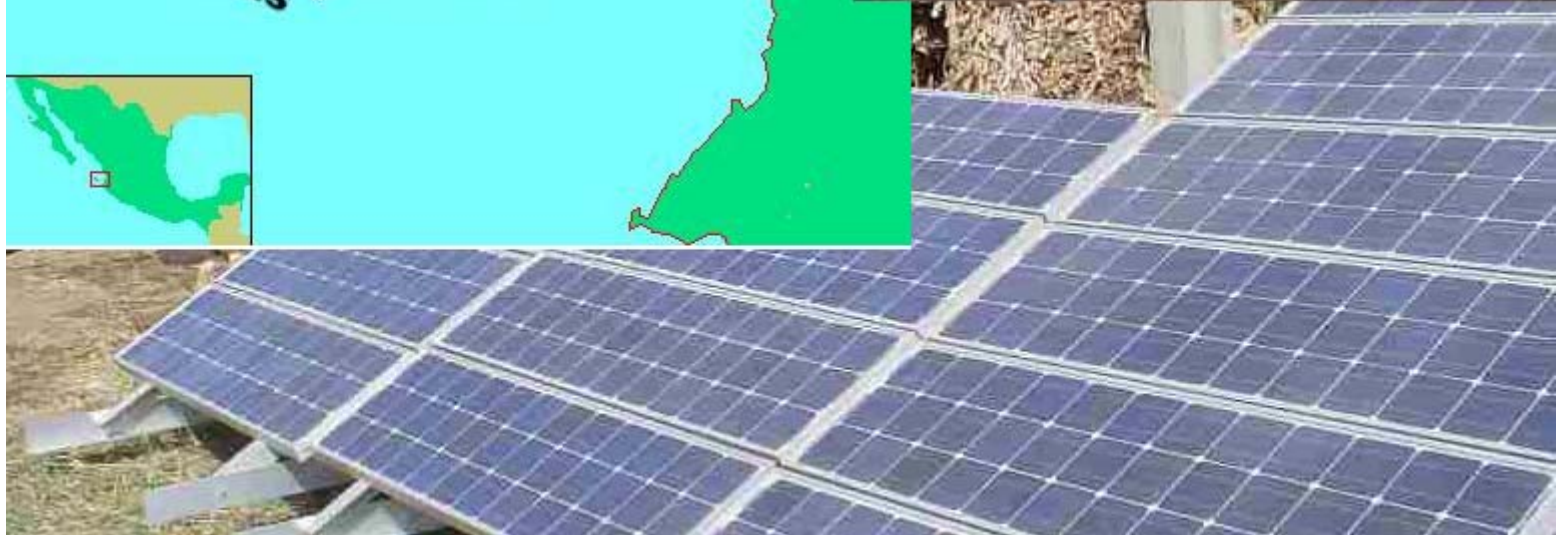
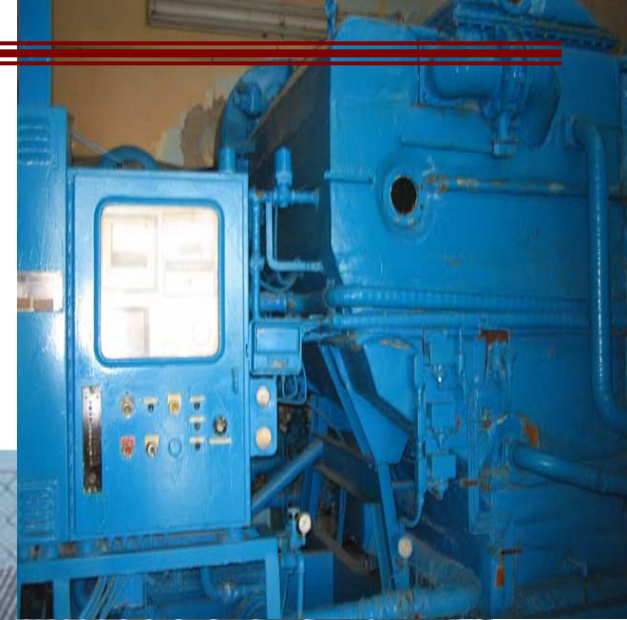
Solar (independiente de la red)

Sistema con paneles fotovoltaicos para desalar agua salobre de pozos

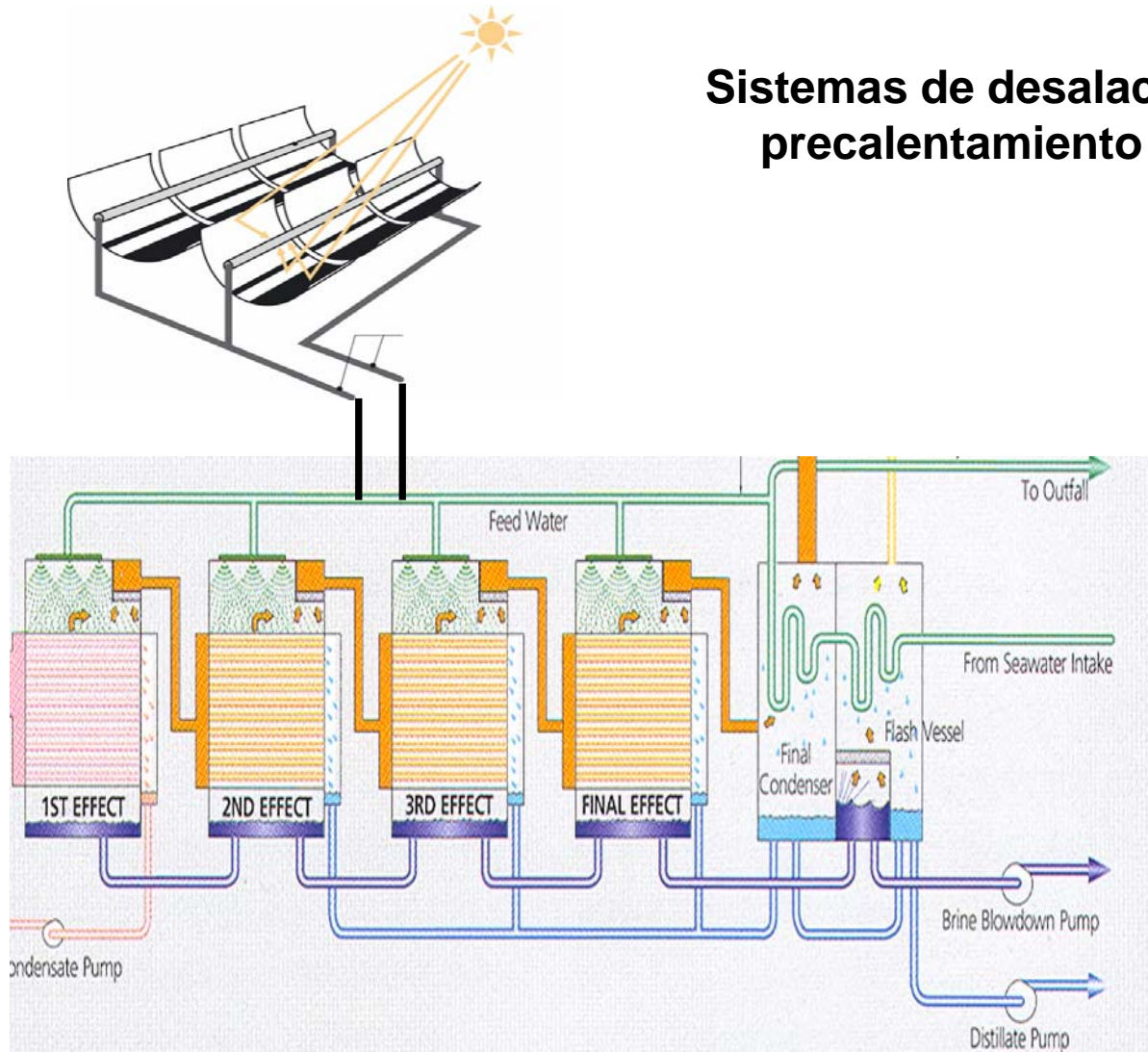


80 m³ / d
(20 m³ / d real)
12 kW
100 paneles

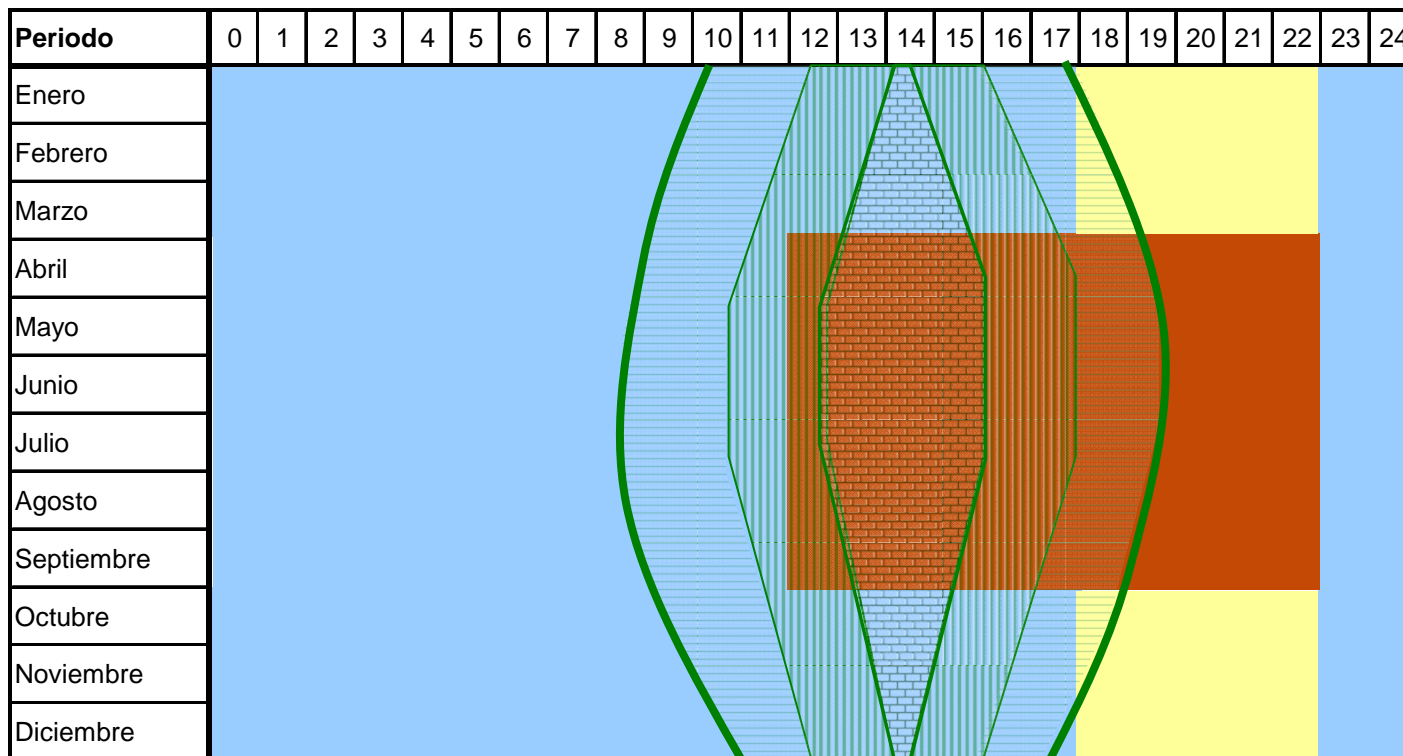
Desalación con paneles solares en las Islas Marías






Sistemas de desalación con precalentamiento solar



Solar (Ahorro de energía eléctrica) Caso La Paz



-  Base **0.57 M.N \$/kWh + IVA**
-  Intermedio **0.81 M.N \$/kWh + IVA**
-  Punta **1.70 M.N \$/kWh + IVA**

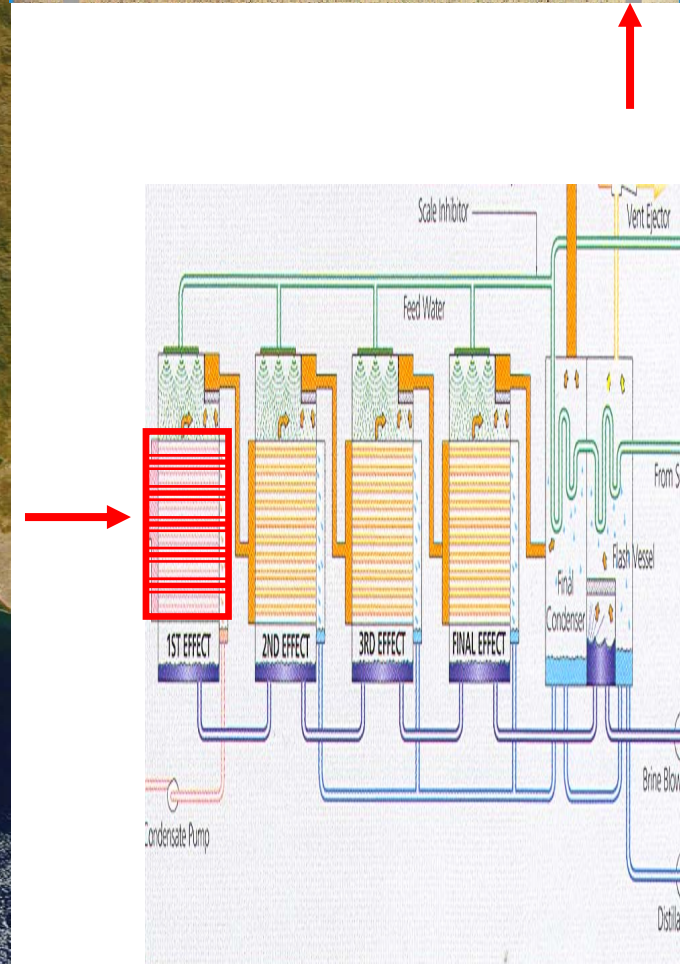
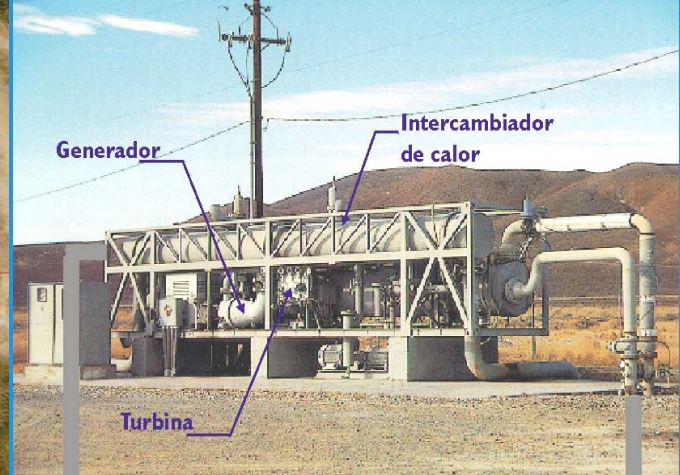
Estudiar el **costo evitado** de la generación complementaria con energía solar y evaluar subsidio necesario.

Demanda fija mensual **150 M.N \$/kW + IVA**

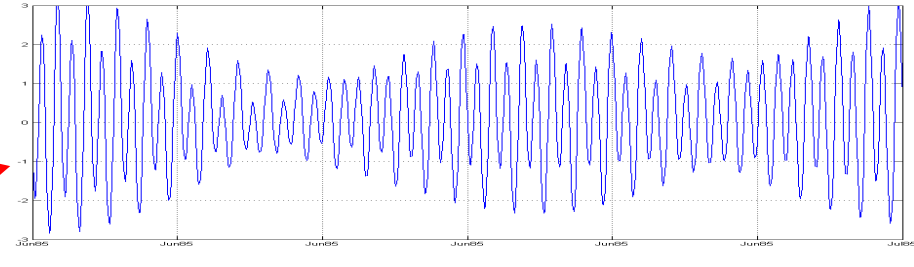


**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

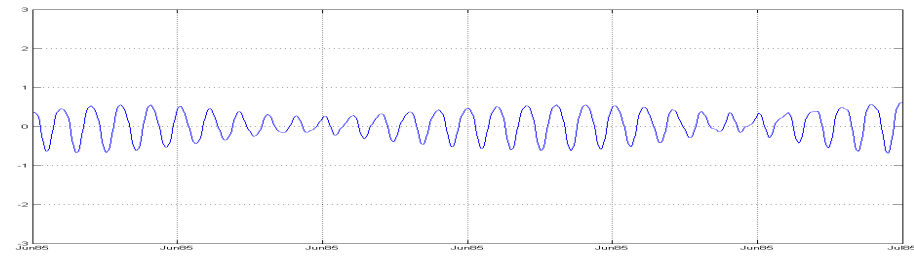
Energías Marinas



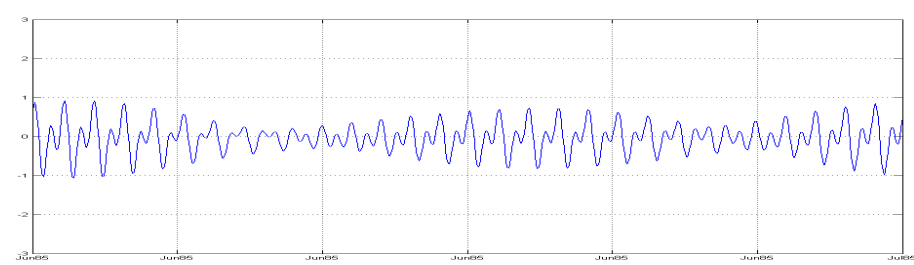
Marea en el Golfo de California



• Marea máxima=6 m

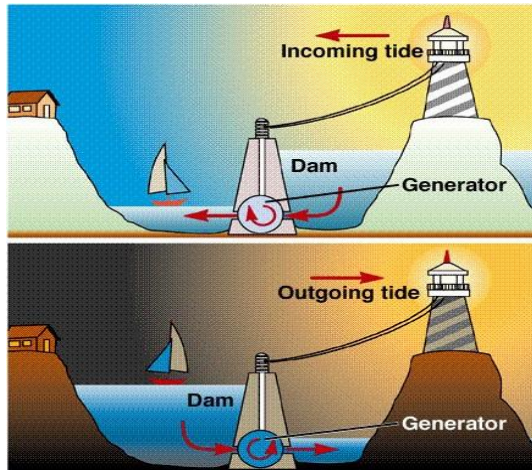
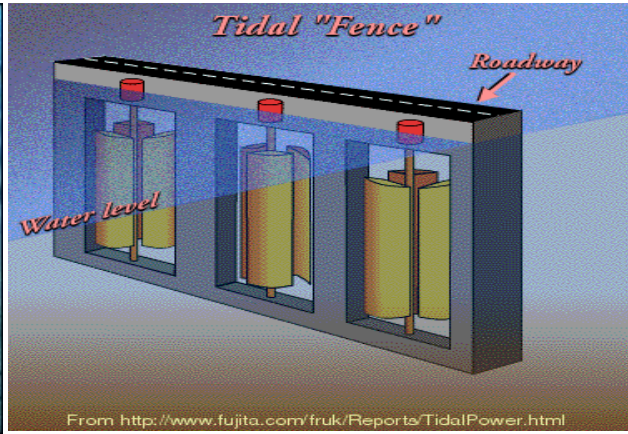
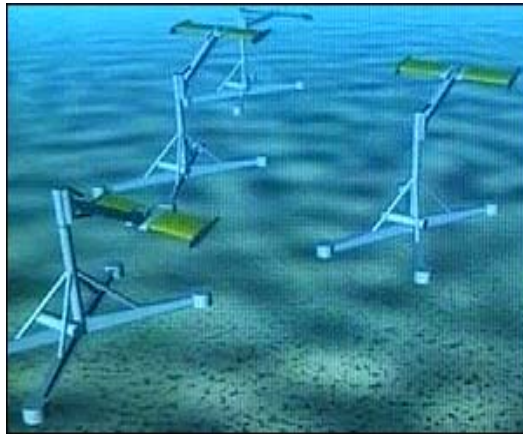


• Marea máxima=1.2 m

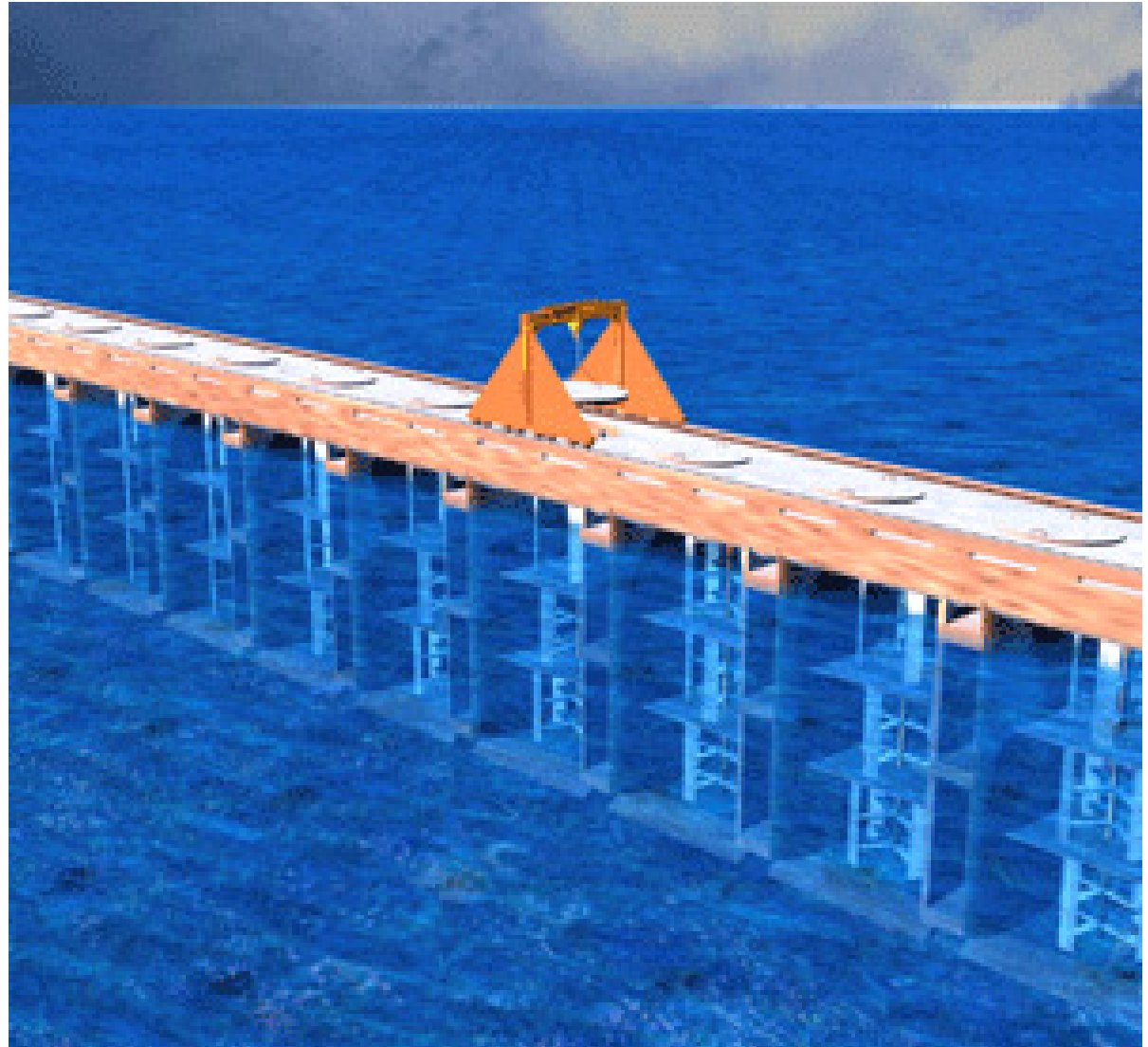
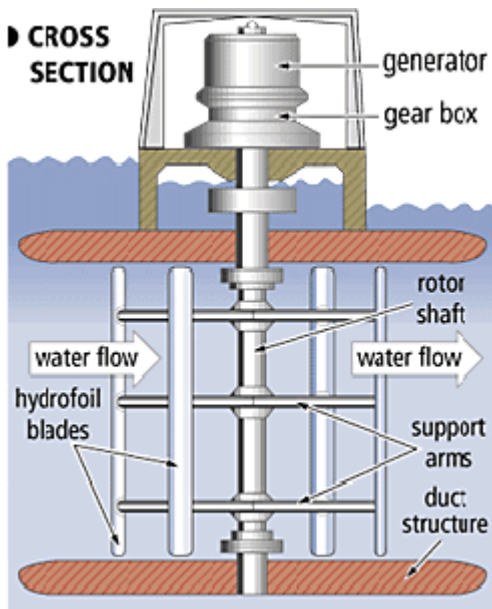
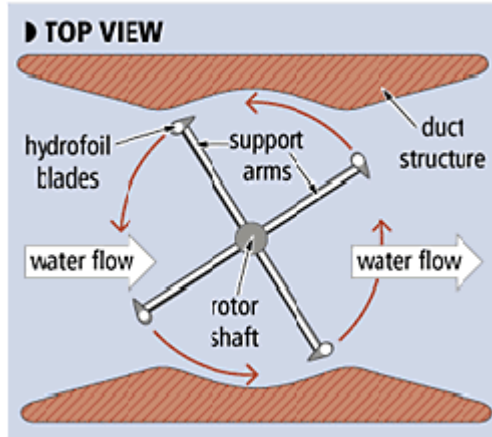


• Marea máxima=1.8 m

Tecnologías marinas



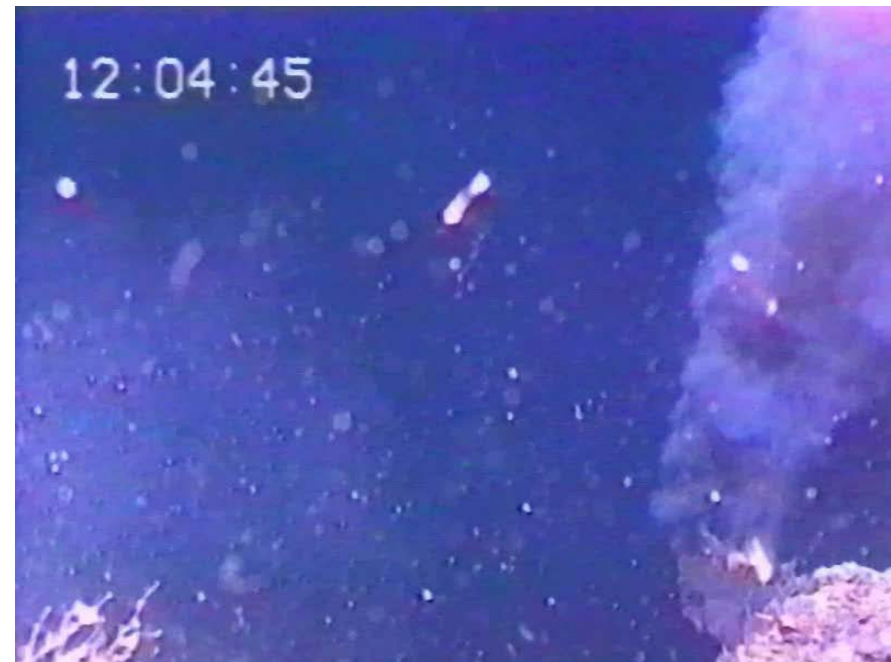
Inventos



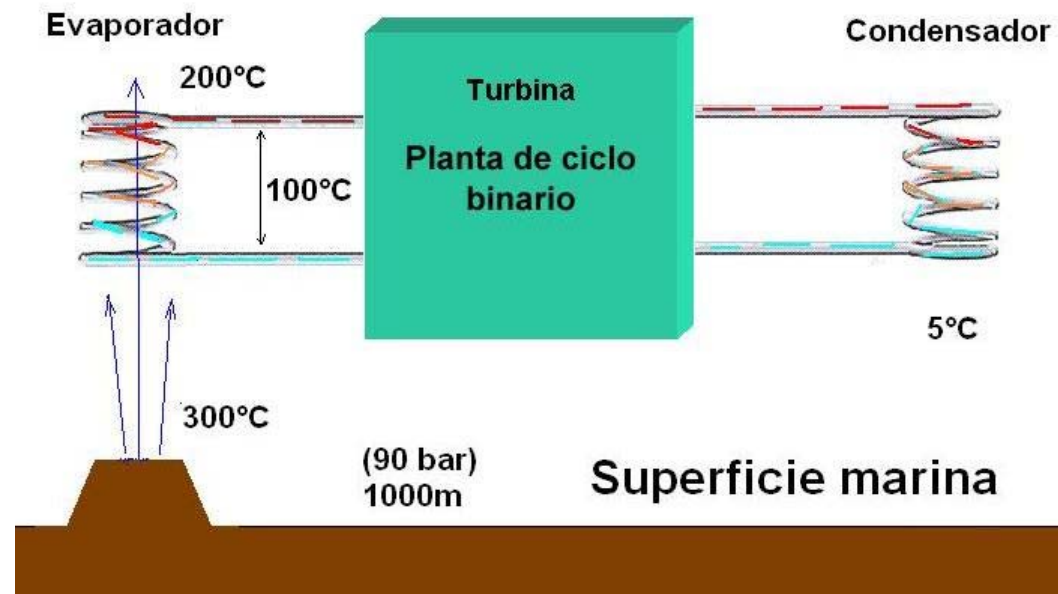


Ventilas submarinas de alta temperatura

- Fosa de Wagner (Puerto Peñasco)
- Guaymas
- Canal de ballenas



Esquema de funcionamiento.



Potencia instalada

MW electricos netos	Temperatura de entrada [°C]	180			
	La eficiencia de transformación	17.14			
	Diametro de la salida [in]	10	20	30	40
	Área de la salida [m ²]	0.05	0.20	0.46	0.81
Velocidad del chorro [m/s]	0.2	0.58	2.32	5.23	9.30
	0.5	1.45	5.81	13.08	23.25
	1.0	2.91	11.62	26.16	46.50
	2.0	5.81	23.25	52.31	93.00

Potencia Instalada: **23** [MW]
 Velocidad del chorro: **0.5** [m/s]
 Diámetro de salida: **40** [in]

Potencia Instalada: **1.4** [MW]
 Velocidad del chorro: **0.5** [m/s]
 Diámetro de salida: **10** [in]

A Grupo Experto en Desalación

- Desarrollar programa para el reclutamiento de gente, entrenamiento y capacitación.

(Convocatoria a becarios PARA (tenemos 5, habrá 5 más) entrenamiento en campo, profesores invitados, intercambio con otros institutos del extranjero, incorporación de un diseñador experimentado, incorporación a la IDA, Seminarios (IIJ))
- Dar opinión fundamentada (**a la brevedad**) sobre las nuevas plantas en estudio en: Ensenada, Rosarito, Puerto Peñasco, Puerto Libertad, Islas Marías, San Felipe, Zihuatanejo, Pozos contaminados de región de La Laguna

(Participación en reuniones con CNA, CFE, PEMEX, Hoteleros, Visitas a los Estados (CEA), Congreso Nacional de Desalación con Hoteleros, fabricantes, consultores, operadores, usuarios en general, expertos extranjeros. Cancún Nov 2006)

B Desarrollo de tecnología para casos específicos de México

- Desalación de **agua caliente**
- Desalación de agua salobre con **energía eólica**
- Desalación aislada, usando energía solar, con celdas **fotovoltaicas**.
- Desalación asistida con **energía solar térmica**.
- Desalación tradicional con **carga variable**.

Conocimiento del Recurso Renovable y Tecnologías para su Aprovechamiento

- **Energías Marinas** disponibles en el Golfo de California y técnicas para aprovecharlas
- **Fuentes costeras** de Agua Caliente
- **Ventilas hidrotermales profundas**, caracterización y técnicas para su aprovechamiento
- Energía **solar**. Cuantificación global y de detalle en los lugares en que se requiera.
- Energía **eólica**. Cuantificación global y de detalle en puntos de interés.

Estudio e Investigación de Técnicas Especiales

- Membranas
- Incrustación
- Corrosión
- Filtrado
- Pre y post tratamiento
- Remoción de Arsénico, Boro, Hierro, Fluor, Mn
- Bombas, eyectores, deaireadores, recuperadores de energía
- Obras de toma y descarga. Pozos playeros y de desecho
- Costos
- Externalidades

Gracias

