



RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ÓSMOSIS INVERSA MULTITETAPA DE BAJA, ALTA Y ULTRA ALTA PRESIÓN

Rolando Bosleman

Technical Director, Water Applications



CONGRESO ALADYR
CHILE 2025

BREVE RESEÑA CURRICULAR



Rolando Bosleman

rbosleman@energyrecovery.com

- **Rolando Bosleman** es Ingeniero Mecánico-Eléctrico por la Universidad de Piura (Perú), MBA por la Pontificia Universidad Católica del Perú. Autor de diferentes artículos y publicaciones técnicas presentadas en Congresos Internacionales de Desalación. Actualmente se desempeña como Director Técnico en recuperación de energía para desalación a nivel global para la empresa Energy Recovery, Inc.
- Rolando Bosleman tiene más de 23 años de experiencia en desalación de agua de mar en diferentes puestos incluyendo ingeniero de puesta en marcha, ingeniero de procesos y mantenimiento, sub-gerente de planta y gerente técnico.
- Enfocado en la satisfacción del cliente, ha participado en la ejecución de proyectos de desalación realizados en diferentes partes del mundo tales como Estados Unidos, Europa, Asia, África y América Latina.



Ósmosis Inversa de Baja Presión



SISTEMAS DE OI DE BAJA PRESIÓN (OIBP) - INTRODUCCIÓN

Características de un Sistema OIBP

- Baja salinidad, típicamente $< 15,000$ ppm \rightarrow operan a baja presión, típicamente < 31 bar (450 psi)
- **Factor de conversión (recobro): 65%-85%**
- Aproximadamente 15%-35% de la energía de la salmuera se pierde si es que no se usa recuperación de energía.
- Se desea obtener una conversión alta por tanto se requiere configuración multi-etapa (2 -3 etapas)
- Condiciones de operación variable: TDS, temperature, conversión, etc. .

Desafíos de un Sistema OIBP

- **Ensuciamiento por precipitación:** Elevada conversión conlleva concentración de sales y posibilidad de precipitación.
- **Ensuciamiento biológico:** Más común en reúso y en la primera etapa debido al elevado flux como consecuencia del desbalance hidráulico entre etapas.
- **Flexibilidad:** Condiciones de operación variable requieren que el sistema se diseñe con amplia adaptabilidad.
- **Brine Disposal:** Algunas veces no se puede realizar la descarga de salmuera y se debe utilizar un tratamiento adicional.

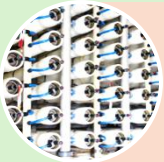
SISTEMAS OI DE BAJA PRESIÓN – TIPOS DE AGUA Y APLICACIONES.



Baja presión
Aplicaciones RO



**Agua salobre; lago, río,
agua subterránea**



**Desalinización de agua
Brackish**

Potable, no potable (agua de procesos
industriales, riego, etc.)



**Aguas residuales
municipales
(efluente terciario)**



**Reuso de aguas
residuales Municipales**

Reuso no potable,
Reuso potable (triple barrera)



**Aguas residuales
industriales**



**Industrial
Reuso de aguas
residuales**

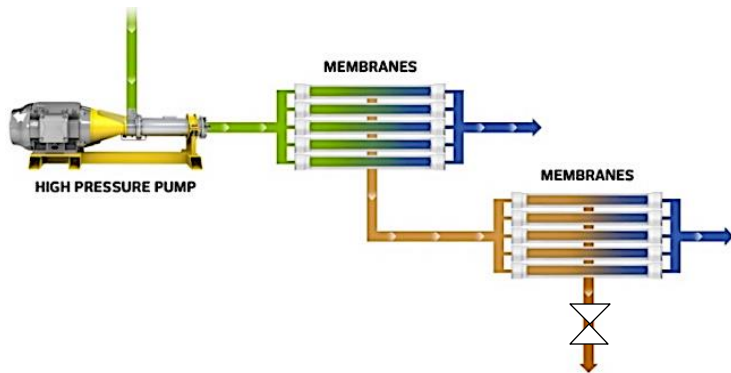
Punto de uso (POU),
aplicaciones de final de proceso

CONSUMO ENERGÉTICO EN SISTEMAS DE BAJA PRESIÓN

Planteamiento del problema:

- Los diseños actuales no optimizan el OPEX.
- Aproximadamente 15%-35% de la energía se desperdicia al no utilizar recuperación de energía

La bomba de alta presión proporciona el caudal total a las membranas de OIBP



Cómo funciona

Bomba de alta presión “full-size” se utiliza para alimentar el 100% del caudal de alimentación de las membranas para vencer la Resistencia creada por la presión osmótica de las membranas. La energía hidráulica residual se pierde a través de la válvula de descarga de salmuera.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN SISTEMAS MULTI-ETAPA: BALANCE DE FLUX

Un Sistema de dos etapas con el flux correctamente balanceado nos permite:

- Mejor control de ensuciamiento.
- Reduce la frecuencia de las limpiezas químicas.
- Incrementa la disponibilidad de la producción de agua.
- Mejor calidad de permeado en la segunda etapa , usualmente mayor calidad total del permeado.
- Menor presión diferencial (pérdida de carga) en la primera etapa.

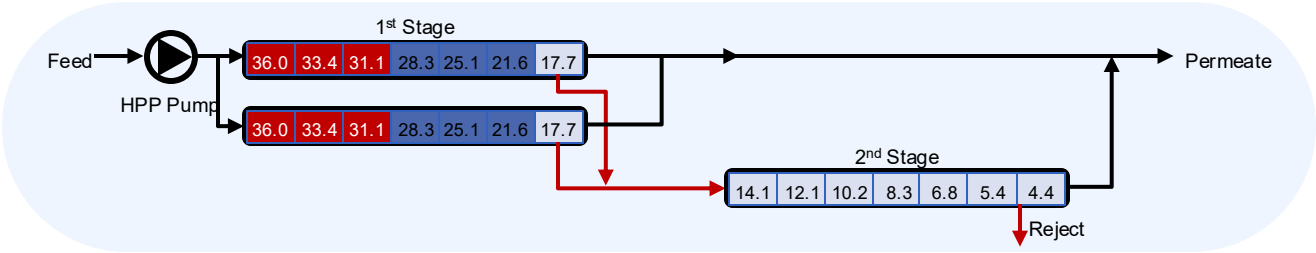
FLUX balanceado reduce el ensuciamiento biológico



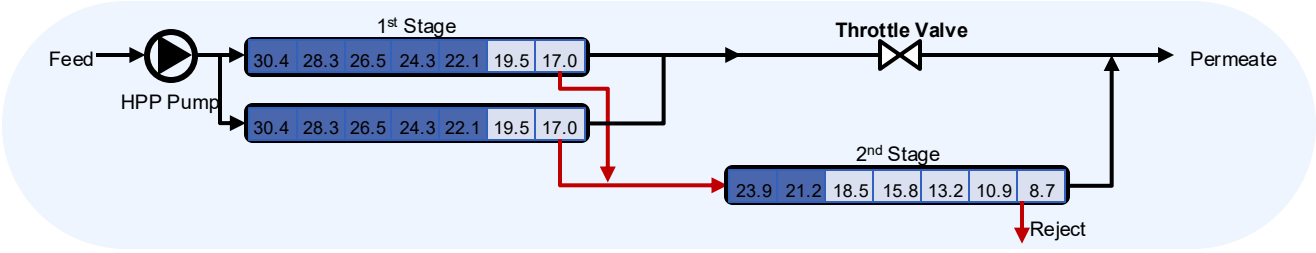
CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN SISTEMAS MULTI-ETAPA: BALANCE DE FLUX



Sin balance de FLUX



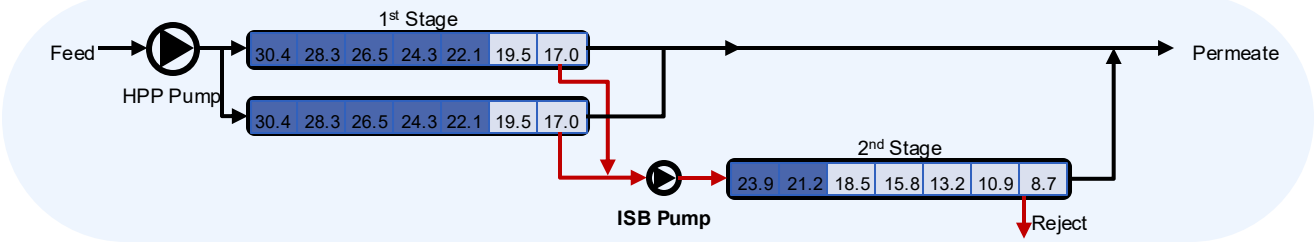
Contrapresión de permeado



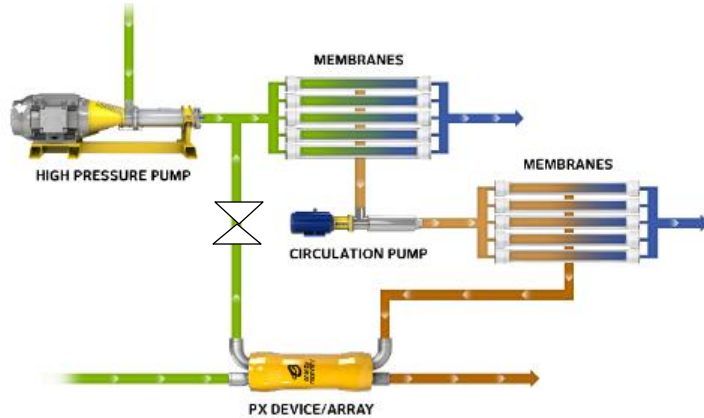
Flux Elevado
Flux Óptimo
Flux bajo (bajo ROI)

(l/mh)

Con Boost entre etapas



OIBP: CONFIGURACIÓN CON SOLUCIÓN ISOBÁRICA



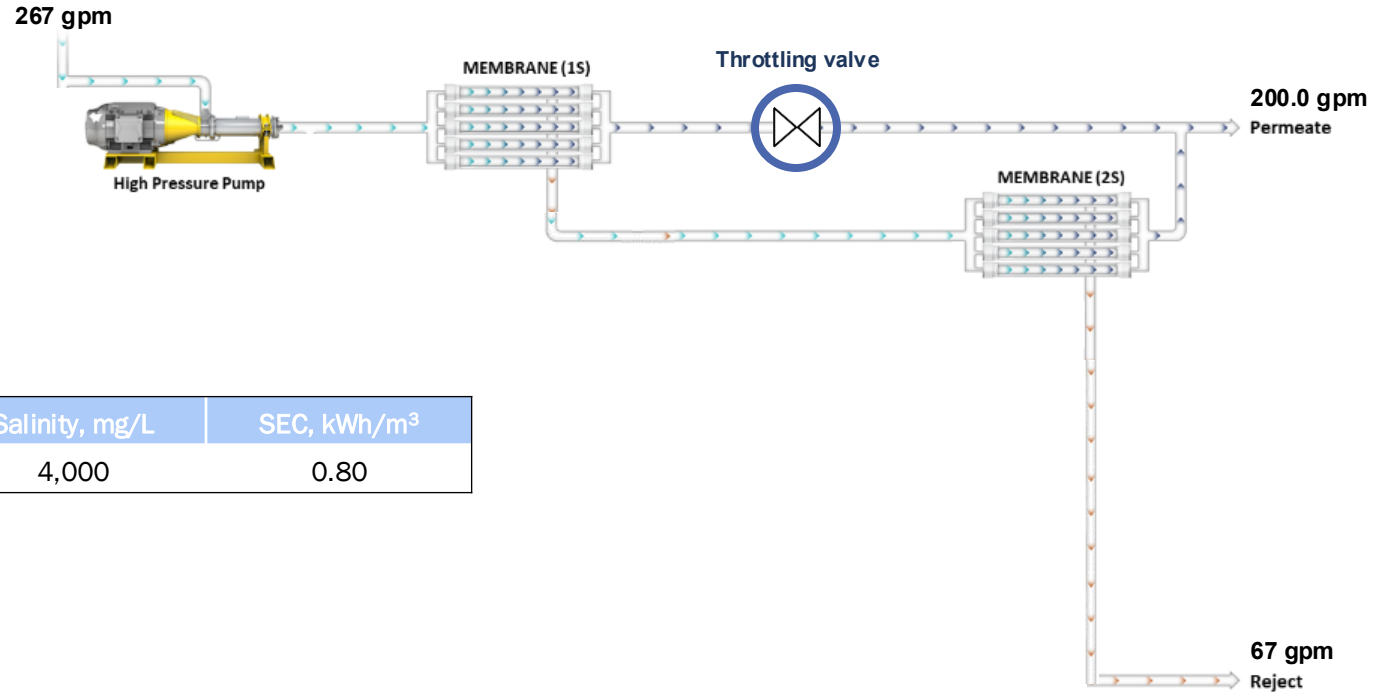
Ventajas:

- Dispositivo de más alta eficiencia
- Mejora el control del Sistema.
- Integración sencilla en el diseño.
- Fácil de operaren diferentes condiciones de operación – booster entre etapas con VFD
- Reducción del tamaño de la bomba de alta presión.

Control del proceso:

- La bomba Booster proporciona el incremento de presión requerido para conseguir el balance hidráulico.
- La bomba booster controla la presión del concentrado de la segunda etapa de tal manera que la presión de salida desde el recuperador es igual o mayor que la presión de alimentación de la primera etapa.
- La válvula de control de caudal controla el caudal de concentrado de la segunda etapa y reduce la presión desde el recuperador hacia la primera etapa.
- El caudal de la bomba de alta presión es aproximadamente igual al caudal de permeado.

SOLUCIÓN CON PX DE BAJA PRESIÓN

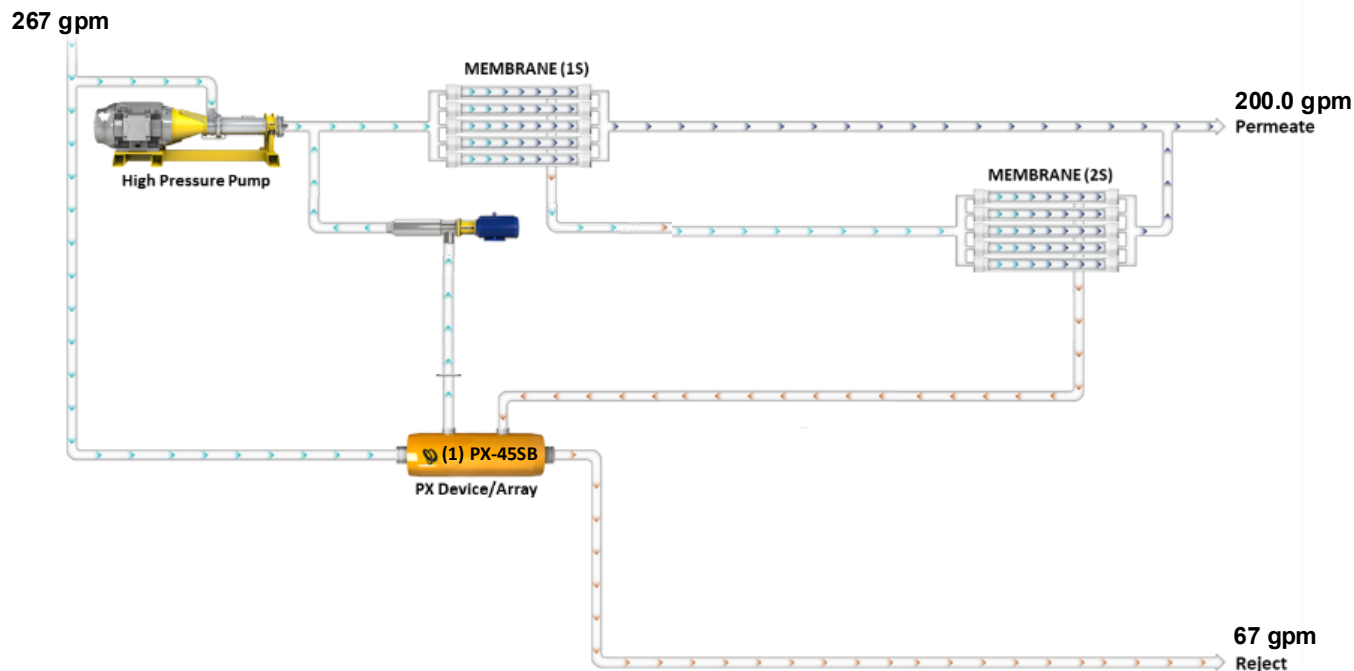


Case	Salinity, mg/L	SEC, kWh/m ³
1	4,000	0.80

- Doble Etapa
- 200 gpm
- 75% recovery
- Sin ERD + contrapresión de permeado en 1ra etapa.

SOLUCIÓN CON PX DE BAJA PRESIÓN

- Doble Etapa
- 200 gpm
- 75% recovery
- Sin balance de Flux

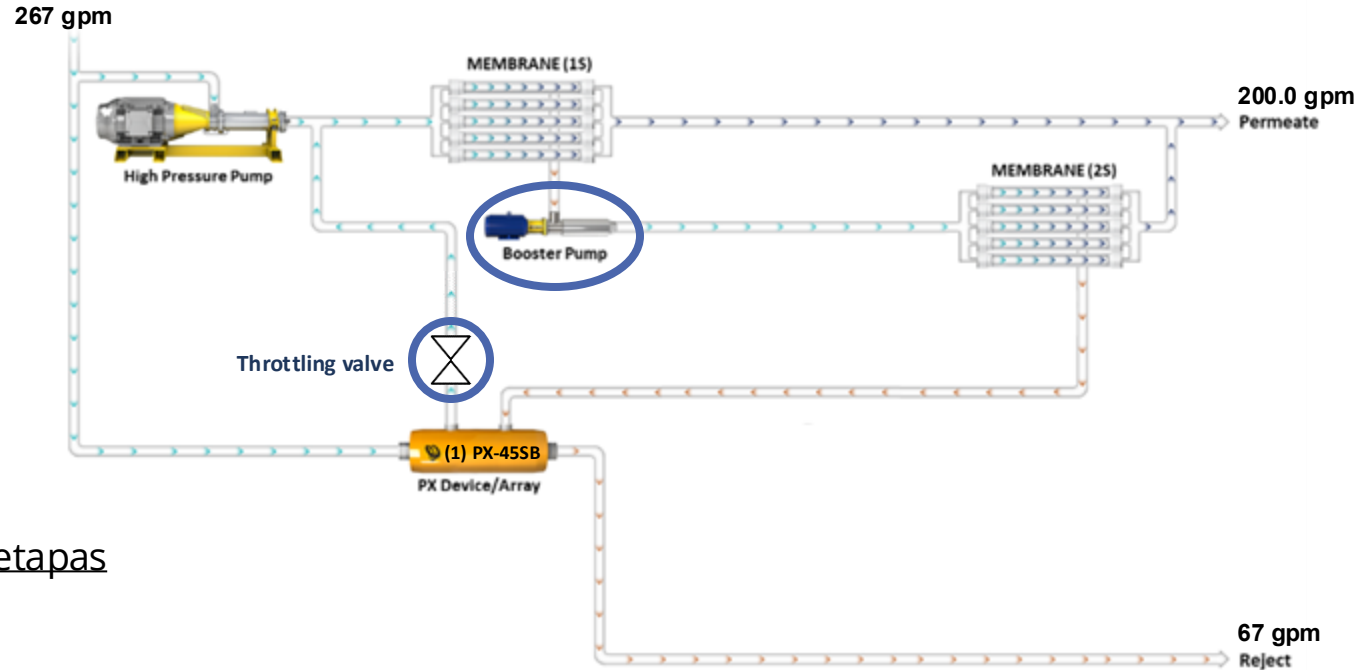


*Estimated based on \$0.1USD/kWh

Case	Salinity, mg/L	HP_IN, psi	SEC, kWh/m ³	SEC Reduced, %
2	4,000	241	0.59	26.5

SOLUCIÓN CON PX DE BAJA PRESIÓN

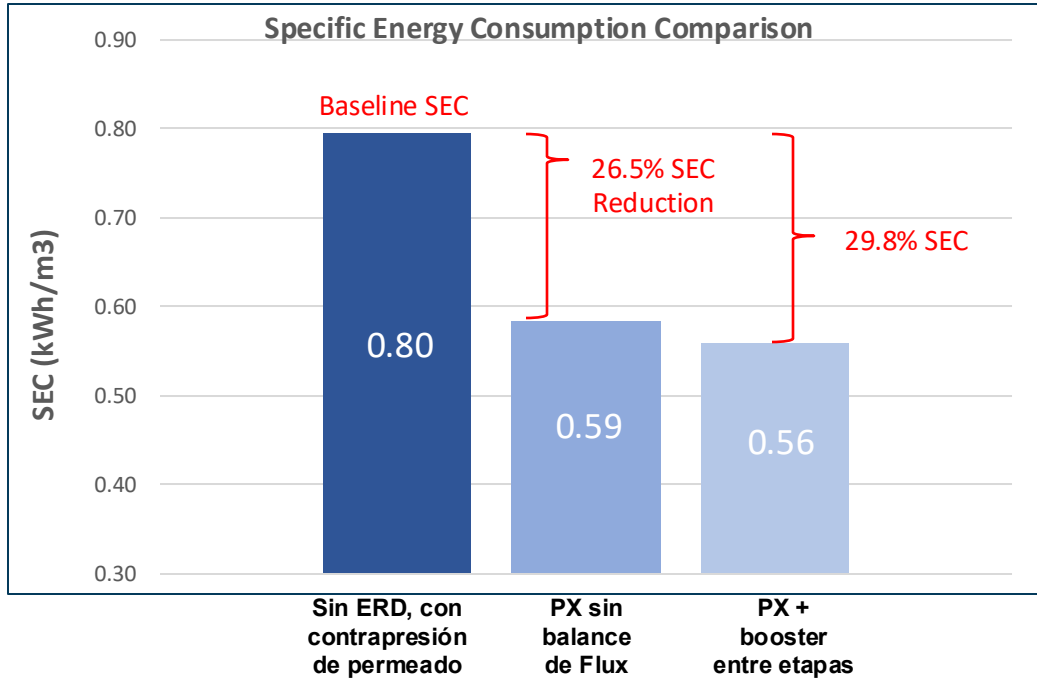
- Doble Etapa
- 200 gpm
- 75% recovery
- PX + booster entre etapas



Case	Salinity, mg/L	HP_IN, psi	SEC, kWh/m ³	SEC Reduced, %	
3	4,000	268	0.56	29.8	

*Estimated based on \$0.1USD/kWh

SOLUCION CON PX- COMPARATIVA DE CONSUMO ENERGÉTICO



Condiciones:

- Doble Etapa
- 4,000 ppm TDS alimentación
- 75% conversion del sistema

IPSACH WTP IN SWITZERLAND



Located along Lake Biel in western Switzerland

Potable water for 70,000 individuals in the towns of Biel & Nidau.

Energie Service Biel/Bienne (ESB), sought a modern and energy-efficient plant to remove trace contaminants from the lake.

Capacity: 1,200 m³/h (7.6 MGD).

RO system: 14,400 m³/day of RO permeate

Blended with 14,400 m³/day of ultra-filtered feed water that bypasses the RO system

Phase 1 operating since summer of 2024 has 8 LPPXs (Four trains)

Phase 2 to be commissioned in Q1 2026 will have 8 LP PXs. (Four trains) (PX delivered)

RO system design

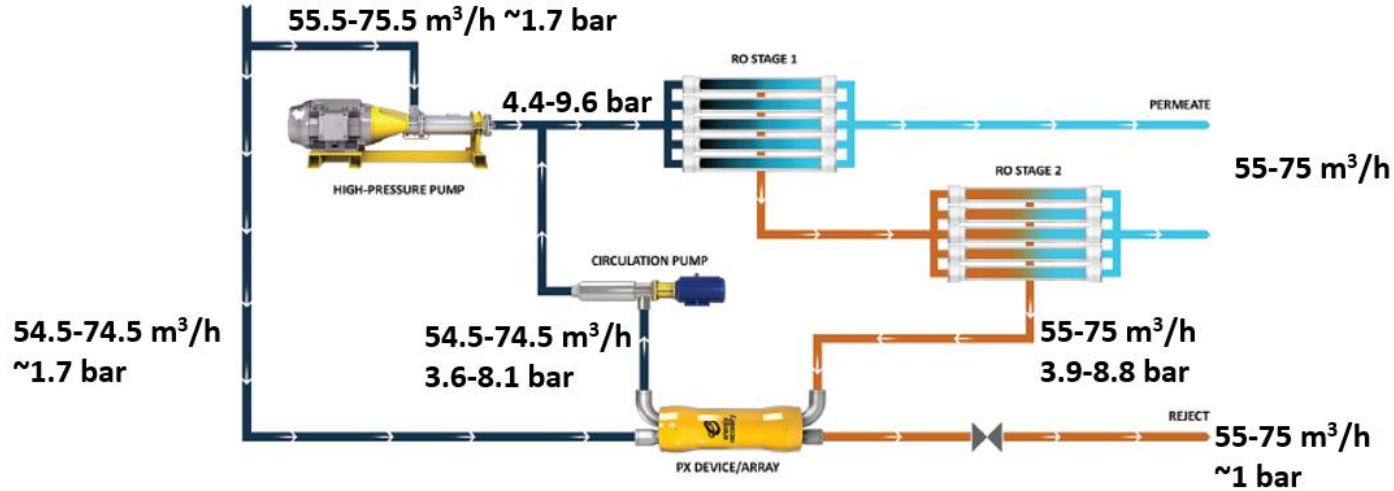
RO feed pressure 4.4 to 9.6 bar

Two stages RO with 50% recovery design condition.

Once fully commissioned, LP PX devices will will save an estimated
<0.6 kWh/m³ of permeate at the maximum expected pressure d400 MWh/year.



IPSACH WTP PROCESS DIAGRAM



Energy Recovery Device Economics						
Project Phase	Treatment Step	RO System Design	ERD Model (Qty)	Without ERD (kWh/m³)	With ERD (kWh/m³)	Payback Period
Phase 1	LPRO	1-Stg. , 4 Train, ~50% recovery	8 PXL-180	0.25-0.65 at design conditions	0.16-0.42 at design conditions	<5 years
Phase 2		1-Stg. , 4 Train, ~50% recovery	8 PXL-180			

NANPU CETP, RETROFIT IN CHINA



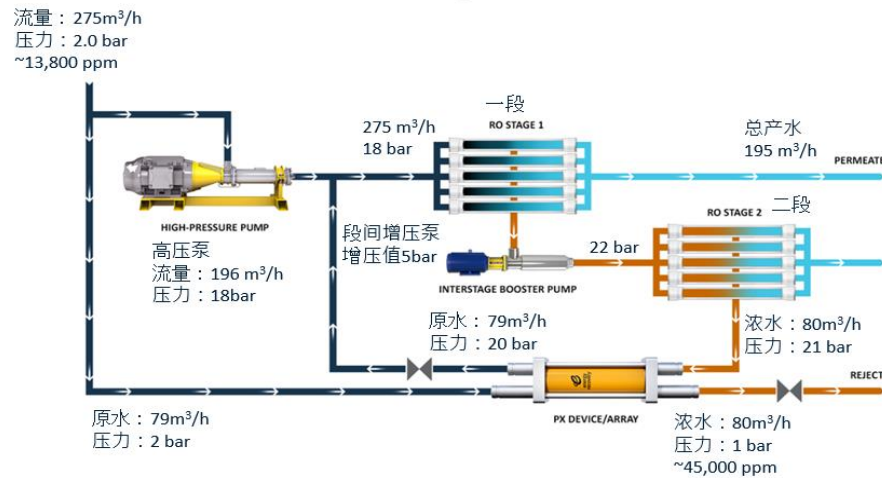
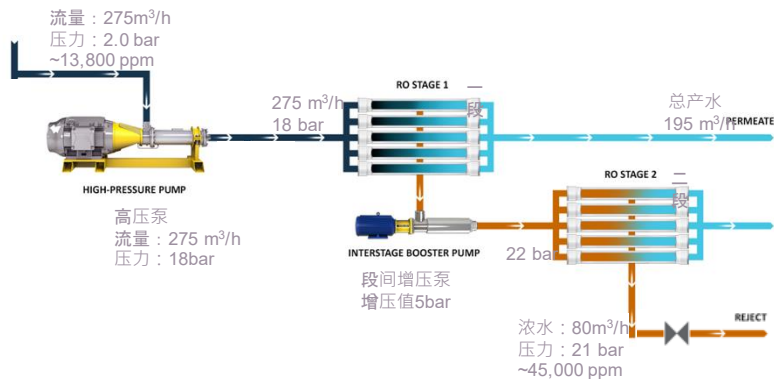
- Chemical Industry CETP(Common Effluent Treatment Plant) reuse plant.
- Industries have to pay CETP based on volume discharged to CETP.
- Pre-treatment +UF+RO1 designed to recycle 70% permeate then, sell reused water back to factories.
- This is a retrofit project. First train out of 16 has been retrofitted and operational for 1 year with satisfactory results.

24% SEC reduction (kWh/m³) achieved by reducing HP pump consumption.

***By integrating LP PX, we could save ~15% SEC of whole CETP energy consumption.
(RO only represents 60%)***



NANPU CETP PROCESS DIAGRAM



Energy Recovery Device Economics

Project Phase	RO System Design	ERD Model (Qty)	Without ERD (kWh/m³)	With ERD (kWh/m³)	Payback Period
Phase 1	2 stage (PV's: 25:13) @ ~70% water recovery	2 x PX-220B	1.04	0.79	<2 years

KONA Village LP RO System

Año de arranque	2015
Cliente	Kona Village
Capacidad Total	~4,000 CMD (1.1MGD gpm) permeado
Número de trenes	7 x 570 CMD trenes; 55% recovery
ERI Product Model	2 PX L90 per train
Aplicación	Agua para uso potable e irrigación en el sector turismo
Ahorros anuales y payback	\$27,000 por tren y <2 years @ \$0.30/kWh

- Pozos de agua salobre @ 8,000 mg/L TDS
- El aumento del precio de la energía incentivó el uso de ERD's



Retrofits: Key Largo & Proyecto en Florida Project OIBP



Client	Key Largo	Confidential Florida Municipal
Año de Arranque	2016	2023
Capacidad	Increase from 1,750 CMD to 2,400 CMD per train	3,400 CMD per train (0.9MGD)
Conversión	60% recovery	75% recovery
Modelo PX empleado	2 PX L180 per train	2 PX Q300 per train
Ahorros anuales y Payback	\$32,000 por tren y <2 años @ \$0.10/kWh	\$39,500 por año por cada tren y <2 años @ \$0.10/kWh

Key Largo

- Pozos de agua salobre. Se incrementó la capacidad 30% agregando PX y membranas
- Se reutilizaron las mismas BAP con VFD.



Confidential Municipal Project in Florida

- Pozos de agua salobre @ 6,000 mg/L TDS
- Objetivo: Incrementar la eficiencia del Sistema aprovechando reemplazo de membranas.
- Se agregó bomba booster y PX

RELIX WATER PERU - LP RO para uso agrícola

Año de arranque	2024
Cliente	RELIX WATER PERU
Capacidad Total	~1920CMD permeado @ 75~80% conversión
Número de trenes	1 x 1,920 CMD con ERD.
ERI Product Model	1 PX L140 por tren
Aplicación	Agua para uso agrícola
Payback	Payback menor a 3 ~ 4 años

- Pozos de agua salobre @ 1,870 mg/L TDS
- Políticas sostenibilidad (ESG) incentivaron el uso de ERD's.



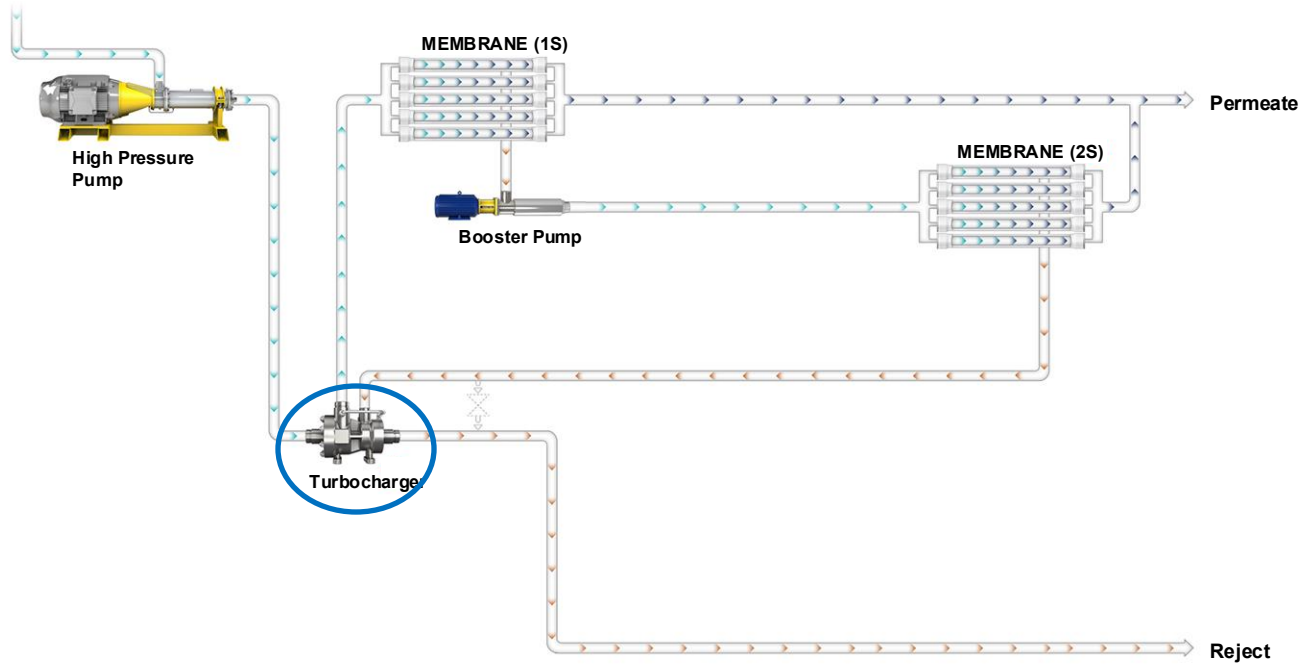


Sistemas de alta recuperación



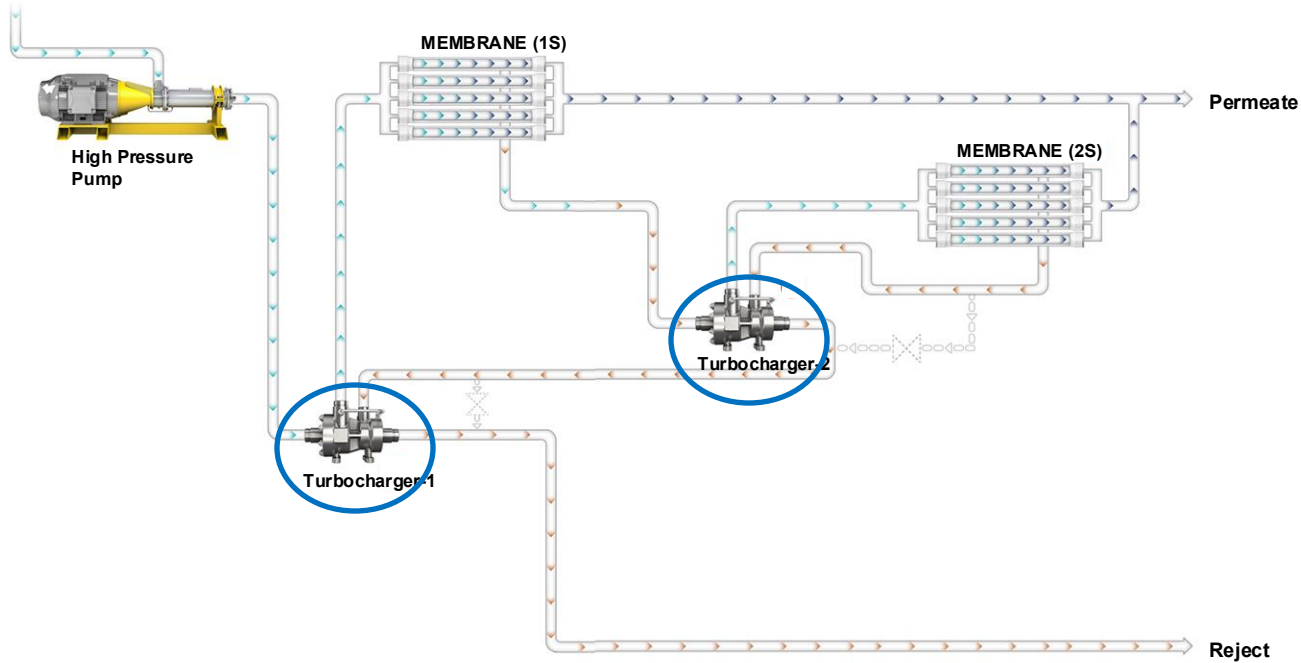
SOLUCIONES DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA SISTEMAS DE ALTA RECUPERACIÓN

Standard Single-Turbo Design



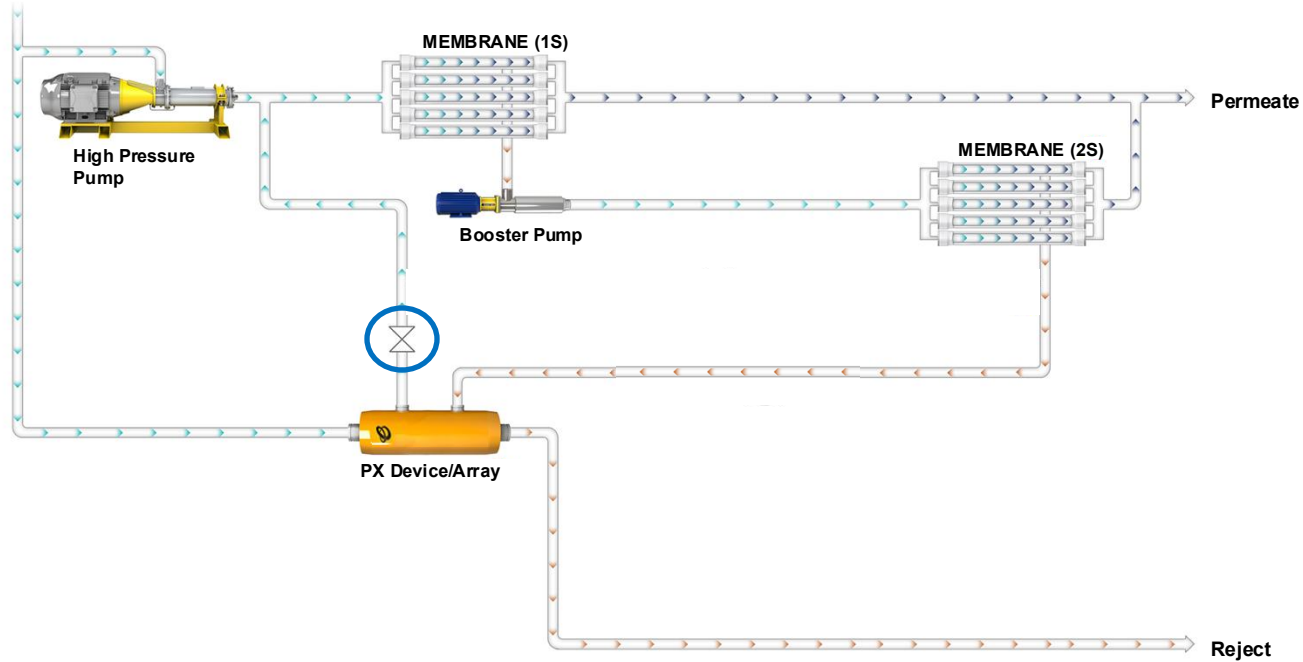
SOLUCIONES DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA SISTEMAS DE ALTA RECUPERACIÓN

Dual-Turbo Design



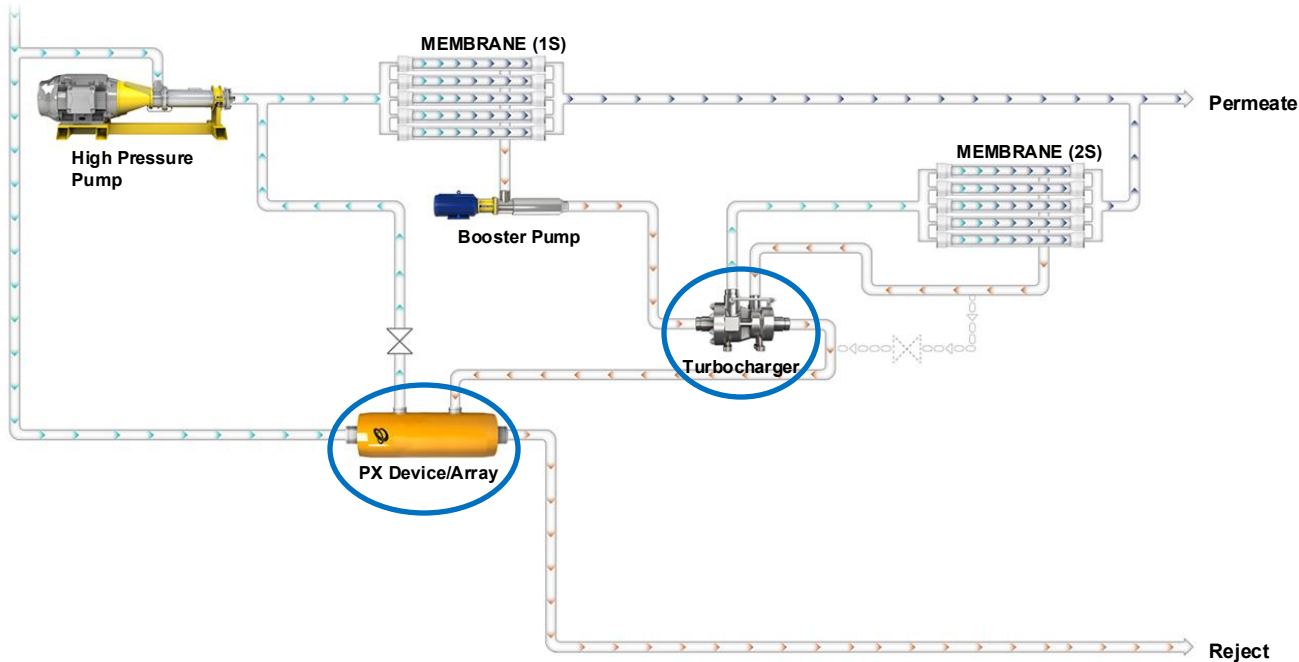
SOLUCIONES DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA SISTEMAS DE ALTA RECUPERACIÓN

Single-PX w/ valve throttling at high-pressure outlet of PX



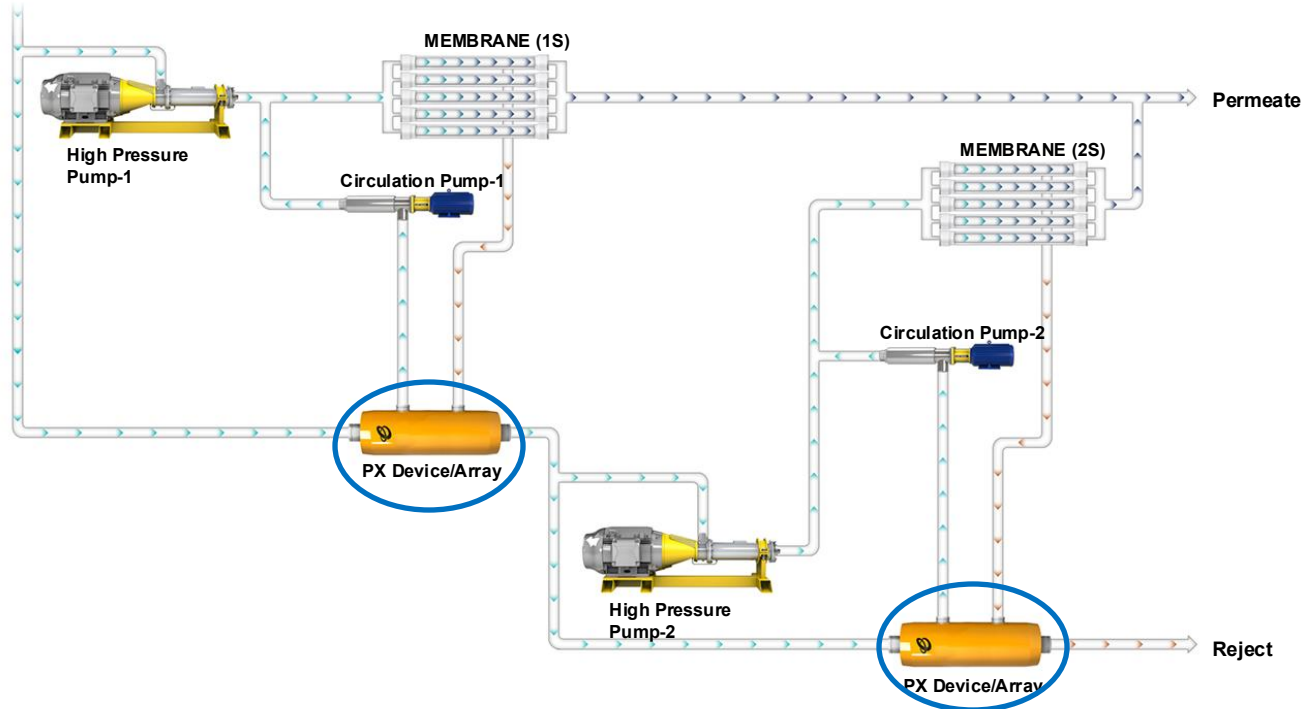
SOLUCIONES DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA SISTEMAS DE ALTA RECUPERACIÓN

PX + Turbo Design



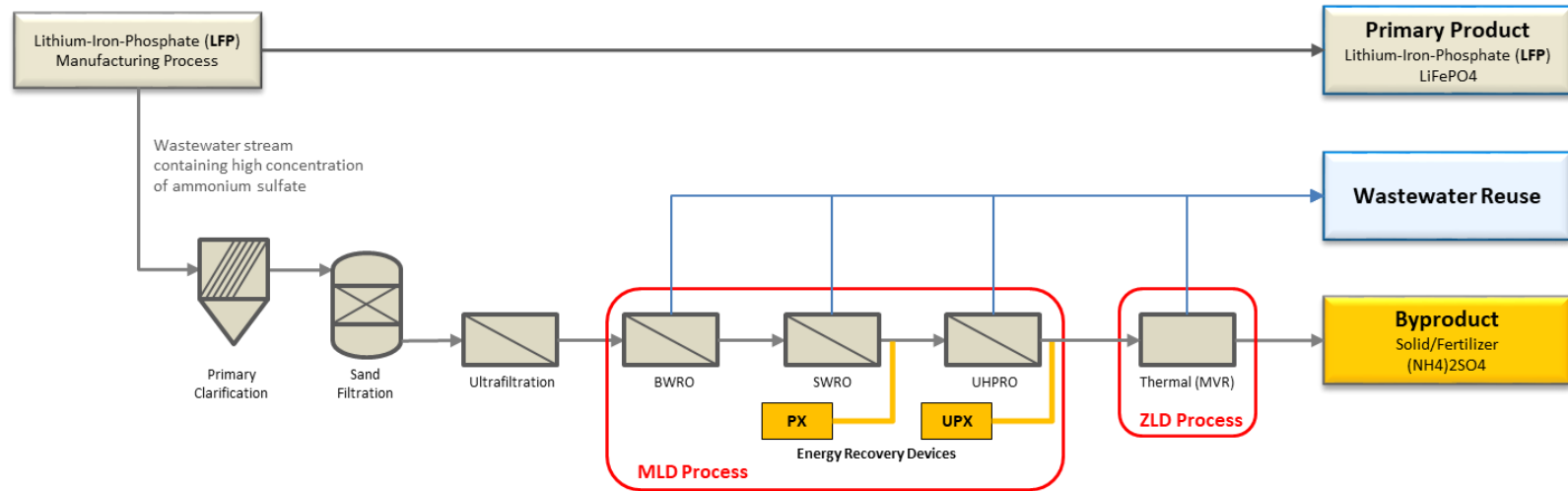
SOLUCIONES DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA SISTEMAS DE ALTA RECUPERACIÓN

Dual-PX Design



CASO DE ESTUDIO- PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BATERÍAS DE ION DE LITIO

Lithium Iron Phosphate (LFP) Manufacturing Process



❖ Reutilizando el agua residual y vendiendo el fertilizante obtenido como subproducto se puede conseguir un “Coste neto Cero” para el proceso WWTP/ZLD

VALORIZACION DEL RESIDUO DE CATODOS DE LFP



50,000 ton/yr. LFP for CATL: ZLD Treatment Process
Shiyan Province, China Installed Early 2022

Raw LFP Cathode

Wastewater:

TDS: ~17,000 mg/L
Flow: 580 m³/hr.

RO Design:

RO1: 520 m³/hr. @ 14 bar (200 psi)
RO2: 167 m³/hr. @ 60 bar (870 psi)
RO3: 81 m³/hr. @ 110 bar (1600 psi)
MLD water recovery: ~91%

Thermal MVR Input

~170,000 mg/L
~52 m³/hr.

