

Desmineralización de agua salobre mediante intercambio iónico y ósmosis inversa. Estudio comparativo

TERESA CORTÉS TESTILLANO (*); JUAN FERRER PARDOMO (*)

RESUMEN Las necesidades de agua desmineralizada en las industrias químicas, petroquímicas, papelera, plantas de energía, etc. vienen cubriéndose casi en su totalidad mediante la instalación de plantas desmineralizadoras de intercambio iónico.

Con el deterioro de los caudales fluviales, y la creciente salinización de las aguas subterráneas, las aguas brutas a desmineralizar han ido pasando a concentrarse cada vez más dentro de la denominación de agua salobre. Este hecho, unido a la creciente reducción del precio de las membranas de ósmosis inversa, frente a la estabilidad del precio de las resinas de intercambio iónico ha hecho que se produzca un gran desplazamiento de los sistemas de intercambio iónico por las de ósmosis inversa.

En este trabajo se realiza un estudio comparativo entre ambos sistemas para el tratamiento de aguas con salinidades comprendidas entre 300 y 1.500 ppm y para diferentes proporciones de las sales disueltas.

En Abril de 1994 entra en funcionamiento el Centro Experimental de Reciclaje de Aguas, primero en sus características que se crea en España, incorporando procesos de vanguardia en el post-tratamiento de las aguas depuradas, tales como la microfiltración y la ósmosis inversa.

El centro de reciclaje consta de dos partes bien diferenciadas, una industrial para el reciclado del agua depurada y otra agrícola para la aplicación de estas aguas.

En este trabajo nos ocupamos únicamente de la planta industrial diseñada para tratar un caudal de 200 m³/día y estando compuesta por sistema de filtración mecánica, sistema de ultrafiltración con membranas sintéticas planas y sistema de ósmosis inversa con membranas espirales de poliamida, así como los sistemas de dosificación de reactivos químicos y sistemas auxiliares. Exponiéndose las características técnicas de los diferentes sistemas que la integran y los datos de funcionamiento y su evolución a lo largo del período de experimentación.

BRACKISH WATER DEMINERALIZING BY IONIC EXCHANGE AND REVERSE OSMOSIS. COMPARATIVE STUDY

ABSTRACT Chemical and petrochemical, paper, energy plants, etc., water demands were almost fully covered by installing ionic exchange demineralizing plants.

With the damage of fluvial flows, and the growing salinization of the subterranean waters, raw water for demineralizing have been reaching the name of membranes, facing the stability of ionic exchange resins has made a shifting of the ionic exchange systems by the reverse osmosis ones.

This work deals with a comparative study of both systems for treating waters with salities between 300 and 1,500 ppm and different proportions of dissolved salts.

In April 1994 Experimental centre in recycling water starts working, first of this characteristics been created in Spain, incorporating in the front of the lead processes in purified waters posttreatment as microfiltration and reverse osmosis.

Recycling centre have two well separated parts, an industrial one for purified water reutilizing and an agricultural one for applying this waters.

This work deals only with the industrial plant, designed to treat 200 m³/day and composed by a mechanical filtration system, ultrafiltration system with plane synthetic membranes, and reverse osmosis system with poliamida spiral wound membranes, and the chemicals dosifying and ancillary systems. Technical characteristic of the different systems, working and evolution data during the experimental period are exposed.

Palabras clave: Desmineralizada; Intercambio Iónico; Resinas; Reactivos; Catiónico; Aniónico.

1. INTRODUCCIÓN

La industria en general requiere para sus procesos el uso de agua desmineralizada para diversos usos que van desde la alimentación de generadores de vapor, circuitos de refrigeración, aguas para adición de procesos, etc., hasta hace poco tiempo este agua desmineralizada era producida mediante plantas desmineralizadoras de intercambio iónico.

Debido al deterioro de los cauces fluviales, y a la creciente salinización de las aguas subterráneas, el agua a desmineralizar ha pasado a encontrarse cada vez más próximo a lo que de-

nominamos agua salobre, este hecho unido a la progresiva reducción del costo de las membranas de ósmosis inversa ha producido un cambio en la tendencia a la construcción de plantas de desmineralización hacia los sistemas de ósmosis inversa.

En el trabajo que se presenta a continuación se ofrece un estudio comparativo entre ambos sistemas.

Para ello se estudian tres instalaciones que están funcionando mediante un sistema de intercambio iónico. En dichas instalaciones la salinidad varía entre 500 y 1.800 ppm.

En el estudio se analizan los consumos de productos químicos, energía, agua, costos de inversión y mantenimiento.

Las conclusiones del estudio no pretenden ser definitivas, ya que cada caso específico requiere un estudio detallado, ahora

(*) INIMA (España).

bien, del mismo se desprende una tendencia que puede servir de orientación.

2. INSTALACIONES ANALIZADAS

Las instalaciones analizadas en el presente estudio son las siguientes:

- Planta de Desmineralización de Intercambio Iónico de la C.T. de La Pereda.
- Planta de Desmineralización de Intercambio Iónico de la C.T. de Jorf Lasfar (Marruecos).
- Planta de Desmineralización de Intercambio Iónico de la C.T. de Granadilla (Tenerife).

Queremos hacer notar que se trata de instalaciones en funcionamiento y que los datos que se citan a continuación están sacados de la explotación de las mismas.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y SISTEMAS A COMPARAR

3.1. CENTRAL TÉRMICA DE LA PEREDA

La instalación produce 240 m³/día netos de agua desmineralizada partiendo de un agua bruta con las siguientes características:

Ca ⁺⁺	4,52 meq/l	HCO ₃ ⁻	1,70 meq/l
Mg ⁺⁺	0,86 meq/l	Cl ⁻	1,38 meq/l
Na ⁺ + K ⁺	1,49 meq/l	SO ₄ ⁼	3,79 meq/l
	6,87 meq/l		6,87 meq/l

SiO ₂	11 ppm SiO ₂
Materia orgánica	10 ppm MnO ₄ K

La calidad del agua desmineralizada será la siguiente:

SiO ₂	0,020 ppm
Conductividad media	0,2 µs/cm

3.1.1. Sistema de intercambio iónico

La instalación consta de dos líneas, una en funcionamiento y la otra en regeneración o en espera, trabajando de acuerdo con el sistema de regeneración a contracorriente "Up Core", cada línea consta de los siguientes equipos:

- Un filtro de arena.
- Un filtro de carbón activo.
- Un cambiador catiónico con resinas catiónicas débiles y fuertes en cámaras separadas.
- Un cambiado aniónico con resinas aniónicas débiles y fuertes en lecho superpuesto.
- Un cambiado de lecho mixto por el sistema de tres lechos.
- Un sistema para regeneración de resinas catiónicas, aniónicas y neutralización de efluentes.

Las características más importantes de cada uno de los cambiadores es la que se muestra en la Tabla 1.

RESUMEN DE COSTOS

a) Reactivos

De acuerdo a lo indicado en la tabla anterior el consumo diario de reactivos será el siguiente:

	Cambiador catiónico	Cambiador aniónico	Cambiador lecho mixto
Diámetro mm	1.000	1.000	1.000
Caudal bruto m ³ /h	11,1	11,1	—
Caudal neto m ³ /h	10,0	10,0	190
Prod. bruta m ³ /día	178	178	—
Prod. neta m ³ /día	160	160	3.700
Catiónica débil litros	400	—	—
Catiónica fuerte litros	1.650	—	350
Aniónica débil litros	—	975	—
Aniónica fuerte litros	—	700	525
Regenerante SO ₄ H ₂ Kg/ciclo	93	—	54
Regenerante NaOH Kg/ciclo	—	99	53

TABLA 1. Características más importantes de cada uno de los cambiadores.

SO ₄ H ₂ :	143 Kg
NaOH:	102 Kg

En los consumos anteriores se ha tenido en cuenta la parte proporcional correspondiente a la regeneración del lecho mixto, con estos consumos el coste diario debido a los reactivos puede estimarse en 8.500 pts/día, o lo que es lo mismo 33,540 pts/m³.

b) Consumo de Agua

El consumo de agua para regeneración y lavados de la resina es de 27 m³/día, lo cual supone 0,11 m³/m³ o bien 11 pts/m³.

c) Energía eléctrica

Teniendo en cuenta el bombeo de agua bruta a la cadena de desmineralización, así como el consumo de las bombas de regeneración tenemos 120 Kwh, lo cual implica un costo de 1.500 pts/día ó 6,25 pts/m³.

d) Costo reposición de resinas

Puede estimarse un costo debido a reposición de resinas, debido a pérdidas por rotura del orden de un 3-4% anual, lo cual supone un costo de 180.000 pts/año ó 2,05 pts/m³.

e) Costo debido al mantenimiento

El costo del mantenimiento, teniendo en cuenta los gastos de repuestos, reparación, reposición de lubricantes, etc., asumiendo a la cantidad de 300.000 pts/año ó 3,40 pts/m³.

f) Costo de la inversión

El costo de la inversión ha sido de 106.000.000 pts.

Si suponemos un período de amortización de 15 años y a los intereses de mercado actuales tendremos una repercusión sobre el costo del m³ de agua producida de 90,75 pts/m³. Dado que la instalación de desmineralización tiene dos cadenas: una en funcionamiento y la otra en regeneración o espera para el cálculo de la amortización se ha supuesto que la instalación puede producir 2,4 ciclos día, o lo que es lo mismo 380 m³/día.

Teniendo en cuenta todos los costos anteriores, resulta un costo del m³ de agua producida de 148,85 pts/m³.

RESUMEN DE COSTOS. SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO C.T. LA PEREDA (Tabla 2)

Reactivos (pta/m ³)	35,40
Consumo agua (pta/m ³)	11
Energía eléctrica (pta/m ³)	6,25
Reposición resinas (pta/m ³)	2,05
Mantenimiento (pta/m ³)	3,40
Amortización (pta/m ³)	90,75

TABLA 2. Resumen de costos.

3.1.2. Sistema de Osmosis inversa

La instalación consta de una línea de producción con los siguientes equipos:

- Acondicionamiento químico.
- Filtración por arena.
- Sistema de osmosis inversa.
- Desmineralización de pulido mediante resinas de intercambio iónico en un lecho mezclado.
- Sistema de lavado de las membranas de osmosis.

Las características más importantes del sistema de osmosis son las siguientes:

Nº de etapas:	2
Nº de tubos 1ª etapa:	2
Nº de tubos 2ª etapa:	1
Nº de membranas por tubo:	4
Nº total de membranas:	12
Presión de trabajo:	6,4 Bar
Caudal entrada:	14,7 m ³ /h
Caudal de producto:	10,07 m ³ /h
Conversión:	68,5%
Energía consumible	3,38 Kw
Consumo específico:	0,34 Kwh/m ³

Las dosis de productos químicos para acondicionamiento del agua son las siguientes:

Hipoclorito sódico:	3 ppm Cl ₂
Coagulante:	15 ppm
Dispersante:	3 ppm
Bisulfito sódico:	6 ppm

RESUMEN DE COSTOS

a) Reactivos

De acuerdo a las dosis indicadas anteriormente y teniendo en cuenta además un lavado de los módulos de Osmosis In-

versa cada cuatro meses, así como la parte proporcional relativa a la regeneración del lecho mezclado de resinas, tenemos un costo de 4 pts/m³.

b) Consumo de agua

De acuerdo a la conversión de la instalación, el consumo de agua por m³ producido es de 0,46 m³/m³ o bien 46,0 pts/m³.

c) Energía eléctrica

Según lo indicado anteriormente y teniendo en cuenta además el bombeo de agua bruta a la osmosis, así como el bombeo al sistema de pulido por resinas, tenemos un consumo de 0,74 Kw/m³ o bien 8,90 pts/m³.

d) Costo reposición de membranas

Se considera una reposición de membranas del 12% anual, lo cual nos da un costo de 2 pts/m³.

e) Costo debido al mantenimiento

El costo del mantenimiento, teniendo en cuenta los gastos de repuestos, reparaciones, reposición de lubricantes, etc., asciende a la cantidad de 1,25 pts/m³.

f) Costo de la inversión

La inversión puede fijarse en 44.000.000 pts, si tomamos en cuenta un período de amortización de 15 años resulta una reposición de 60,3 pts/m³ de agua producida.

Por lo que el costo total del m³ del agua producida asciende a 122,45 pts/m³.

RESUMEN DE COSTOS. SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA C.T. LA PEREDA (Tabla 3)

Reactivos (pta/m ³)	3,40
Consumo agua (pta/m ³)	46,0
Energía eléctrica (pta/m ³)	8,9
Reposición membranas (pta/m ³)	2
Mantenimiento (pta/m ³)	1,25
Amortización (pta/m ³)	60,3

TABLA 3. Resumen de costos.

3.2. CENTRAL TÉRMICA DE JORF LASFAR

La instalación produce 960 m³/día netos de agua desmineralizada partiendo de un agua bruta con las siguientes características:

Ca ⁺⁺	3,45 meq/l	HCO ₃ ⁻	3,11 meq/l
Mg ⁺⁺	4,71 meq/l	Cl ⁻	10,70 meq/l
Na ⁺ + K ⁺	8,80 meq/l	SO ₄ ⁼	3,13 meq/l
		NO ₃ ⁻	0,02 meq/l
	16,96 meq/l		16,96 meq/l

SiO₂ 16 ppm SiO₂

Materia orgánica 2,5ppm MnO₄K

La calidad del agua desmineralizada será la siguiente:

SiO ₂	0,010 ppm
Conductividad media	0,1 µs/cm

3.2.1. Sistema de intercambio iónico

La instalación consta de una línea de tratamiento basada en el sistema "Up Core" de regeneración en contra corriente. Siendo la composición de la línea la siguiente:

- Un filtro a presión de antracita.
- Un cambiador catiónico débil.
- Tres cambiadores catiónicos fuertes.
- Tres cambiadores aniónicos débiles.
- Un desgasificador atmosférico.
- Un cambiador de lecho mixto.
- Un sistema de regeneración y neutralización de efluentes.

Las características más importantes de cada uno de los cambiadores es la que se muestra en la Tabla 4.

RESUMEN DE COSTOS

a) Reactivos

De acuerdo a lo indicado en la tabla anterior el consumo diario de reactivos será el siguiente:

SO ₄ H ₂ :	1.223 Kg
NaOH:	877 Kg

En los consumos anteriores se ha tenido en cuenta la parte proporcional correspondiente a la regeneración del lecho mixto, con estos consumos el coste diario debido a los reactivos puede estimarse en 73.500 pts/día, o bien 76,6 pts/m³.

b) Consumo de Agua

El consumo de agua para regeneración y lavados de la resina es de 0,16 m³/m³ ó bien 16 pts/m³.

c) Energía eléctrica

Teniendo en cuenta el bombeo de agua bruta, agua desgasificada, así como el consumo de las bombas de regeneración

tenemos 600 Kwh, lo cual implica un costo de 7.200 pts/día ó 7,5 pts/m³.

d) Costo reposición de resinas

Suponiendo una reposición de un 3-4% anual de resinas, debido a pérdidas por rotura, tenemos un costo de 763.000 pts/año ó bien 1,04 pts/m³.

e) Costo debido al mantenimiento

El costo del mantenimiento, teniendo en cuenta los gastos de repuestos, reparación, reposición de lubricantes, etc., asciende a la cantidad de 1.250.000 pts/año ó 3,6 pts/m³.

f) Costo de la inversión.

El costo de la inversión ha sido de 250.000.000 pts.

Suponiendo al igual que en el caso anterior de C.T. La Pereda, un período de amortización de 15 años y a los intereses de mercado actuales, tendremos una repercusión sobre el costo del m³ de agua producida de 85,6 pts/m³.

En este caso la instalación dispone de una única cadena de tratamiento por lo que la repercusión de la amortización sobre el costo del agua producida es menor.

Teniendo en cuenta todos los costos anteriores, resulta un costo del m³ de agua producida de 190,30 pts/m³.

RESUMEN DE COSTOS. SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO C.T. JORF LASFAR (Tabla 5)

Reactivos (pta/m ³)	76,6
Consumo agua (pta/m ³)	16
Energía eléctrica (pta/m ³)	7,5
Reposición resinas (pta/m ³)	1,04
Mantenimiento (pta/m ³)	3,6
Amortización (pta/m ³)	85,6

TABLA 5. Resumen de costos.

TABLA 4. Características más importantes de cada uno de los cambiadores.

	Catiónico Débil	Catiónico Fuerte	Aniónico Débil	Aniónico Fuerte	Lecho Mixto
Diámetro mm	1.400	2.000	2.100	1.200	1.400
Caudal bruto m ³ /h	55,75	55,75	55,75	55,75	55,75
Caudal neto m ³ /h	48	48	48	48	48
Prod. bruta m ³ /día	1.115	1.115	1.115	1.115	—
Prod. neta m ³ /día	960	960	960	960	30.000
Volumen de resina L	2.025	6.250	5.625	1.800	575/863
Regenerante SO ₄ H ₂ Kg/ciclo	Exceso catión fuerte	1.221	—	—	57,5
Regenerante NaOH Kg/ciclo	—	—	Exceso anión fuerte	874	86,3

3.2.2. Sistema de Ósmosis inversa

La instalación consta de una línea de producción con los siguientes equipos:

- Acondicionamiento químico.
- Filtración por arena.
- Filtración por cartuchos.
- Sistema de osmosis inversa.
- Desmineralización de pulido mediante resinas de intercambio iónico en un lecho mezclado.
- Sistema de lavado de las membranas de osmosis.

Las características más importantes del sistema de osmosis son las siguientes:

Nº de etapas:	2
Nº de tubos 1ª etapa:	4
Nº de tubos 2ª etapa:	2
Nº de membranas por tubo:	6
Nº total de membranas:	36
Presión de trabajo:	10,2 Bar
Caudal entrada:	53,55 m³/h
Caudal producto:	40,18 m³/h
Conversión:	75 %
Energía consumida:	19,62 Kw
Consumo específico:	0,49 Kwh/m³

Las dosis de productos químicos para acondicionamiento del agua son las siguientes:

Hipoclorito sódico:	3 ppm Cl ₂
Coagulante:	15 ppm
Dispersante:	3 ppm
Bisulfito sódico:	6 ppm

RESUMEN DE COSTOS

a) Reactivos

Según se ha explicado para el caso anterior de la C.T. de La Pereda y con las dosis anteriores tenemos un costo de 3,20 pts/m³.

b) Consumo de agua

De acuerdo a la conversión de la instalación, el consumo de agua por m³ producido es de 0,33 m³/m³ o bien 33 pts/m³.

c) Energía eléctrica

Según lo indicado anteriormente y teniendo en cuenta además el bombeo de agua bruta a la osmosis, así como el bombeo al sistema de pulido por resinas, tenemos un consumo de 0,765 Kw/m³ o bien 9,20 pts/m³.

d) Costo reposición de membranas

Se supone una reposición de membranas del 12% anual, lo cual nos da un costo de 1,6 pts/m³.

e) Costo debido al mantenimiento

El costo del mantenimiento, teniendo en cuenta los gastos de repuestos, reparaciones, reposición de lubricantes, etc., asciende a la cantidad de 1,0 pts/m³.

f) Costo de la inversión

La inversión puede fijarse en 93.000.000 pts, si consideramos un período de amortización de 15 años, resulta una repercusión de 31,8 pts/m³ de agua producida.

Por lo que el costo total del m³ del agua producida asciende a 80,3 pts/m³.

RESUMEN DE COSTOS. SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA C.T. JORF LASFAR (Tabla 6)

Reactivos (pts/m³)	3,20
Consumo agua (pts/m³)	33
Energía eléctrica (pts/m³)	9,2
Reposición membranas (pts/m³)	1,6
Mantenimiento (pts/m³)	1,0
Amortización (pts/m³)	31,8

TABLA 6. Resumen de costos.

3.3. CENTRAL TÉRMICA DE GRANADILLA

La instalación produce 480 m³/día netos de agua desmineralizada, partiendo de un agua bruta con las siguientes características:

Ca ⁺⁺	4 meq/l	HCO ₃ ⁻	13,98 meq/l
Mg ⁺⁺	10,98 meq/l	Cl ⁻	0,46 meq/l
Na ⁺	9,96 meq/l	SO ₄ ⁼	10,92 meq/l
K ⁺	0,4 meq/l		
	25,36 meq/l		25,36 meq/l

SiO₂ 65 ppm SiO₂

Materia orgánica 12 ppm MnO₄K

La calidad del agua desmineralizada es la siguiente:

SiO₂ 0,010 ppm

Conductividad media 0,1 µs/cm

3.3.1. Sistema de intercambio iónico

La instalación consta de dos líneas, una en funcionamiento y la otra en regeneración a contra corriente "Up Core", cada línea consta de los siguientes equipos:

- Un filtro de cartuchos.
- Un cambiador catiónico con resinas débiles y fuertes en cámaras separadas.
- Un desgasificador atmosférico.
- Un cambiador aniónico con resinas aniónicas débiles y fuertes en lechos superpuestos.
- Un cambiador de lecho mixto.
- Un sistema de regeneración y neutralización de efluentes.

Las características más importantes de cada uno de los cambiadores es la que se muestra en la Tabla 7.

	Cambiador catiónico	Cambiador aniónico	Cambiador lecho mixto
Diámetro mm	1.200	1.300	900
Caudal bruto m ³ /h	24,5	24,5	24,5
Caudal neto m ³ /h	20	20	—
Prod. bruta m ³ /ciclo	196	196	—
Prod. neta m ³ /ciclo	160	160	7.056
Nº de ciclos/día	3	3	—
Catiónica débil L	1.525	—	—
Catiónica fuerte L	2.400	—	339
Aniónica débil L	—	1.925	—
Aniónica fuerte L	—	1.425	509
Regenerante SO ₄ H ₂ Kg/ciclo	278	—	41
Regenerante NaOH Kg/ciclo	—	125	51

TABLA 7. Características más importantes de cada uno de los cambiadores.

RESUMEN DE COSTOS

a) Reactivos

De acuerdo a lo indicado en la tabla anterior el consumo diario de reactivos será el siguiente:

SO ₄ H ₂ :	838 Kg/d
NaOH:	380 Kg/d

En los consumos anteriores se ha tenido en cuenta la parte proporcional correspondiente a la regeneración del lecho mixto, con estos consumos el coste diario debido a los reactivos puede estimarse en 38.500 pts/día, o bien 80,2 pts/m³.

b) Consumo de Agua

El consumo de agua para regeneración y lavados de la resina es de 0,225 m³/m³ ó bien 22,5 pts/m³.

c) Energía eléctrica

Teniendo en cuenta el bombeo de agua bruta, agua desgasificada, así como el consumo de las bombas de regeneración tenemos 450 Kwh, lo cual supone un costo de 5.400 pts/día ó 11,25 pts/m³.

d) Costo reposición de resinas

Suponiendo una reposición de un 3-4% anual de resinas por pérdidas por rotura, tenemos un costo de 323.000 pts/año ó bien 1,804 pts/m³.

e) Costo debido al mantenimiento

El costo del mantenimiento, teniendo en cuenta los gastos de repuestos, reparación, reposición de lubricantes, etc., asciende a la cantidad de 400.000 pts/año ó 2,30 pts/m³.

f) Costo de la inversión

El costo de la inversión ha sido de 161.000.000 pts.

Suponiendo al igual que en los casos anteriores, un período de amortización de 15 años y a los intereses de mercado actuales, tendremos una repercusión sobre el costo del m³ de agua producida de 82,70 pts/m³.

Dado que la instalación de desmineralización tiene dos cadenas, una en funcionamiento y la otra en regeneración o espera, para el cálculo de la amortización se ha supuesto que la instalación puede producir 4 ciclos día, o lo que es lo mismo 640 m³/día.

Teniendo en cuenta todos los costos anteriores, resulta un costo del m³ de agua producida de 200,75 pts/m³.

RESUMEN DE COSTOS. SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO C.T. GRANDILLA (Tabla 8)

Reactivos (pts/m ³)	80,2
Consumo agua (pts/m ³)	22,5
Energía eléctrica (pts/m ³)	11,25
Reposición resinas (pts/m ³)	1,80
Mantenimiento (pts/m ³)	2,30
Amortización (pts/m ³)	82,70

TABLA 8. Resumen de costos.

3.3.2. Sistema de Ósmosis inversa

La instalación consta de una línea de producción con los siguientes equipos:

- Acondicionamiento químico.
- Filtración por arena.
- Filtración por cartuchos.
- Sistema de osmosis inversa.
- Desmineralización de pulido mediante resinas de intercambio iónico en un lecho mezclado.
- Sistema de lavado de las membranas de osmosis.

Las características más importantes del sistema de osmosis son las siguientes:

Nº de etapas:	2
Nº de tubos 1ª etapa:	3
Nº de tubos 2ª etapa:	2
Nº de membranas por tubo:	5
Nº total de membranas:	25
Presión de trabajo:	8 Bar
Caudal entrada:	30,7 m ³ /h
Caudal producto:	20 m ³ /h
Conversión:	65%
Energía consumida:	8,83 Kw
Consumo específico:	0,44 Kwh/m ³

Las dosis de productos químicos para acondicionamiento del agua son las siguientes:

Hipoclorito sódico:	3 ppm Cl_2
Coagulante:	15 ppm
Dispersante:	3 ppm
Bisulfito sódico:	6 ppm

RESUMEN DE COSTOS

a) Reactivos

Según se ha explicado para el caso anterior de la C.T. de La Pereda y con las dosis anteriores tenemos un costo de 3,50 pts/m³.

b) Consumo de agua

De acuerdo a la conversión de la instalación, el consumo de agua por m³ producido es de 0,54 m³/m³ o bien 54 pts/m³.

c) Energía eléctrica

Según lo indicado anteriormente y teniendo en cuenta además el bombeo de agua bruta a la osmosis, así como el bombeo al sistema de pulido por resinas, tenemos un consumo de 0,74 Kw/m³ o bien 8,90 pts/m³.

d) Costo reposición de membranas

Se considera una reposición de membranas del 12% anual, lo cual nos da un costo de 2,2 pts/m³.

e) Costo debido al mantenimiento

Según lo indicado anteriormente y teniendo en cuenta los gastos de repuestos, reparaciones, reposición de lubricantes, etc., asciende a la cantidad de 1,0 pts/m³.

f) Costo de la inversión

La inversión puede fijarse en 64.000.000 pts. Si consideramos un período de amortización de 15 años, tendremos una repercusión de 44,25 pts/m³ de agua producida.

Por lo que el costo total del m³ del agua producida asciende a 113,85 pts/m³.

RESUMEN DE COSTOS. SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA C.T. GRANADILLA (Tabla 9)

Reactivos (pts/m ³)	3,5
Consumo agua (pts/m ³)	54
Energía eléctrica (pts/m ³)	8,9
Reposición membranas (pts/m ³)	2,2
Mantenimiento (pts/m ³)	1,0
Amortización (pts/m ³)	44,25

TABLA 9. Resumen de costos.

4. ESTUDIO COMPARATIVO

Como puede observarse, de la Tabla 10 resumen anterior, únicamente a bajas salinidades del orden de 500 mg/l, la desmineralización por intercambio iónico compite con menor costo de explotación y mantenimiento con la Osmosis Inversa.

Hay que resaltar que los costos de explotación dados en este estudio son específicos para los casos estudiados, ya que en los mismos influye considerablemente además de la salinidad total, la proporción entre los diferentes iones.

También cabe resaltar que en el caso de la osmosis inversa, una parte muy importante del costo de explotación de la misma es debido al consumo de agua de rechazo, por lo que este punto habría que considerarlo como punto desfavorable en zonas deficitarias de agua.

Desde el punto de vista de la inversión y por lo tanto de la amortización, se aprecia como bastante más favorable el sistema de osmosis inversa.

Salinidad mg/l	SISTEMA DE INTERCAMBIO IÓNICO				SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA			
	Expl. y mant. Pts/m ³	Inversión Pts	Amort. 15 años pts/m ³	Cons. Agua m ³ /m ³	Expl. y mant. Pts/m ³	Inversión Pts	Amort. 15 años pts/m ³	Cons. Agua m ³ /m ³
500	58,1	106 10 ⁶	90,75	0,11	62,15	44 10 ⁶	60,3	0,46
1.100	104,7	250 10 ⁶	85,6	0,16	48,5	93 10 ⁶	31,8	0,33
1.700	118,05	161 10 ⁶	82,7	0,225	69,6	64 10 ⁶	44,25	0,54

TABLA 10. Estudio comparativo.