

Seis años de funcionamiento continuo en la potabilizadora Las Palmas III

JAIME SADHWANI ALONSO (*)

RESUMEN La Potabilizadora Las Palmas III, constituyó el final del primer proceso de dotación de agua para el consumo humano de la Ciudad de Las Palmas. Este se inició hace más de dos décadas con la construcción de las Potabilizadoras Las Palmas I y II, que obtenían agua potable mediante el sistema de evaporación súbita multietápica.

Hoy día se prevén dos objetivos para continuar con el abastecimiento en continuo de agua potable, que las administraciones Central y Autónoma ha previsto para un plazo inmediato:

- una remodelación importante en la Potabilizadora de Las Palmas I, aumentando al doble su capacidad de producción y,
- una ampliación de la Planta Potabilizadora Las Palmas III de 10.000 m³/día mediante el sistema de ósmosis inversa.

La Potabilizadora Las Palmas III, fue en su momento (1987) una de las mayores del mundo en su tecnología, desalando 36.000 m³/día por O.I, tecnología que por otro lado era en aquel momento conocida pero poco experimentada con aguas de mar superficiales.

Los resultados de la explotación durante los seis primeros años de funcionamiento han demostrado la viabilidad de desalar agua con dicha tecnología.

LAS PALMAS III SIX YEARS OPERATING

ABSTRACT *Las Palmas III Desalination Plant brought to an end the first process to provide desalinated water to the city of Las Palmas which had been begun more than two decades ago with the construction of Las Palmas I and II, desalting water by multistage evaporation.*

Today there is a projected plan to continue desalted water to the city of Las Palmas, where both government Autonomic and Central are implicated for a very short period of time.

The first objective is to remodel Las Palmas I doubling its production capacity and the second objective is to enlarge to 10.000 m³/day Las Palmas III.

Las Palmas III was in its moment the biggest world's plant using the technology of reverse osmosis, which a production capacity of 36.000 m³/day. This technology in Spain was knowed but not too much tested with superficial sea water intake.

The operations results during the first six years have demonstrated the viability to desalt seawater with an important reduction of water product's price.

Palabras clave: Agua potable; Consumo humano; Remodelación; Ósmosis inversa; Evaporación súbita.

1. ANTECEDENTES

El presente artículo trata de recoger las experiencias relativas a la operación y mantenimiento durante los seis primeros años de funcionamiento en la instalación desaladora "Las Palmas III".

La instalación desaladora de agua de mar "Las Palmas III" constituyó el final del proceso de dotación de agua para el consumo humano de la ciudad de Las Palmas, que el M.O.P.T. inició hace más de dos décadas con la construcción de la Potabilizadora "Las Palmas I" y continuó hace aproximadamente más de una década con la Potabilizadora "Las Palmas II". Hoy día, se prevé una remodelación importante en la primera de las instalaciones, aumentando al doble su capacidad de producción.

Así cómo estas dos instalaciones obtenían agua potable por el sistema de evaporación súbita multietápica, "Las Palmas III" lo lleva a cabo por el proceso de ósmosis inversa, con filtración a alta presión, a través de membranas semipermeables.

Dicha planta se encuentra en la costa de Jinámar, (Término Municipal de Las Palmas de Gran Canaria), a ocho kilómetros de la ciudad de Las Palmas y a doce kilómetros del aeropuerto, junto a la autovía del Sur. Su construcción se inició en Enero de 1987, comenzando a producir agua desalada en Octubre de 1989.

La capacidad de la instalación "Las Palmas III", 36.000 m³/día, la convirtió en su momento en una de las mayores del mundo, siendo capaz ella sola de proporcionar el agua necesaria para más de la mitad de la población de Las Palmas de G.C.

El coste aproximado de la instalación ascendió a la cifra de 6.300.000.000 de pesetas, con una financiación del 100% a cargo del Ministerio de Obras Públicas y Transporte.

Número de líneas de producción	6
Capacidad de cada línea de producción	6.000 m ³ /día
Salinidad del agua de mar	38.300 ppm
Salinidad del permeado	<500 ppm
Conversión de trabajo	45%
Nº de etapas por línea de producción	2
Consumo específico de energía por m ³ producido	6,16 Kw/h (*)
Consumo energía recuperado por la turbina	1,65 Kw/h/m ³
Número de membranas instaladas	4.606 Uds.
Configuración de membranas	Arrollamiento en espiral
Coste aproximado de la instalación	6.300.000 ptas.

(*) Este consumo específico incluye todos los consumos, incluso el bombeo del agua producida al exterior debiendo salvar una diferencia geométrica de 180 metros. Este además está calculado descontando el debido a la recuperación de energía.

TABLA I. Características de la instalación.

(*) Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Campus Universitario de Tafira, Las Palmas de Gran Canaria, España.

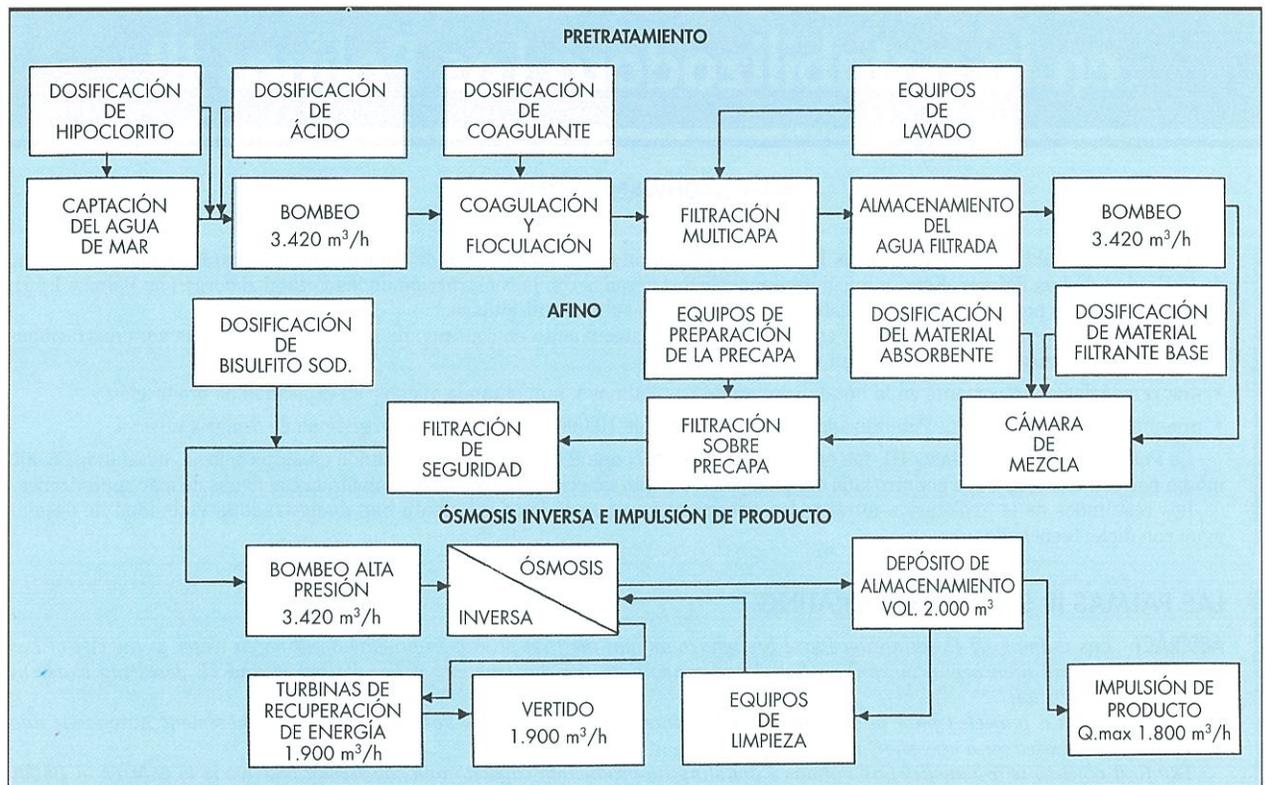


GRÁFICO 1. Diagrama general. Esquema del proceso.

La capacidad inicial de producción prevista era de 24.000 m³/día, ampliándose en dos líneas de producción con 6.000 m³/día, cada una. Estas líneas fueron financiadas parcialmente por la empresa adjudicataria PRIDESA, de manera que en el contrato de explotación con el Ayuntamiento, se contemplaba la amortización de la inversión efectuada por esas dos líneas (la 5ª y 6ª). Es decir, el coste del metro cúbico de agua potable que se repercute al Ayuntamiento tenía dos partidas: una, la debida a los costes de operación y mantenimiento de los primeros 24.000 m³/día producidos, y la segunda, la correspondiente a los 12.000 m³/día siguientes que incluía los costes de financiación.

La captación del agua de mar se hace en una balsa de sedimentación situada en el interior de una escollera, de la que se alimentan los equipos de refrigeración de la Central Térmica de Jinámar para la producción de energía eléctrica. El agua de mar penetra en la balsa de sedimentación a través de varias tuberías sumergidas bajo la escollera.

2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El proceso consta de cuatro partes claramente diferenciadas:

- Captación y Pretratamiento.
- Tratamiento de afino.
- Alta Presión y Bastidores de O.I.
- Bombeo a ciudad.

a) Captación y Pretratamiento

El agua bruta es captada por siete bombas verticales centrífugas (una de reserva) que llevan incorporado de forma totalmente independiente un equipo de vacío, con objeto de evitar cavitaciones por falta de aporte de agua en la columna de aspiración de la bomba.

El volumen de agua captado es enviado a través de un único colector hasta el edificio de procesos, para ser pretratado física y químicamente.

El pretratamiento físico consiste en seis filtros de multicapa abiertos constituidos por grava, arena y antracita, mientras que el pretratamiento químico consiste en la dosificación en continuo de tres reactivos químicos: un agente bactericida (hipoclorito sódico) que es impulsado por tres bombas dosificadoras (una de reserva); con objeto de poder garantizar una mayor eficacia del bactericida y reducir el pH del agua de mar, se inyecta ácido sulfúrico a través de tres bombas dosificadoras (una de reserva) y por último, la inyección de un coagulante inorgánico (cloruro férrico) por tres bombas dosificadoras (una de reserva) cuya misión es formar flóculos para que puedan ser retenidos en el lecho filtrante.

b) Tratamiento de afino

Consiste en eliminar la materia en suspensión presente en el agua y que no ha podido retener los filtros de gravedad, mediante un doble sistema de filtración a presión en serie con una selectividad de cinco y una micra respectivamente, que se analiza igualmente a través de un único colector hasta la aspiración de las bombas de alta presión.

La primera filtración que se realiza se denomina filtración por precapa, donde existen siete filtros (uno de reserva), en los que se deposita un lecho de material absorbente (tierra de diatomeas) sobre un medio soporte (polipropileno).

La segunda filtración son tres filtros de cartuchos que actúan como elementos de seguridad para la ósmosis inversa.

c) Bombeo de alta presión y bastidores de ósmosis inversa

El sistema de alta presión está constituido por siete trenes (uno de reserva), formados por bomba —motor— turbina.

Tanto la bomba de alta presión como la turbina de contra-presión son centrífugas, multietápicas y de cámara partida, lo que permite un mejor mantenimiento. Ambos equipos disponen de un sistema de detección y control automático para el calentamiento de cojinetes y vibraciones de los rodamientos.

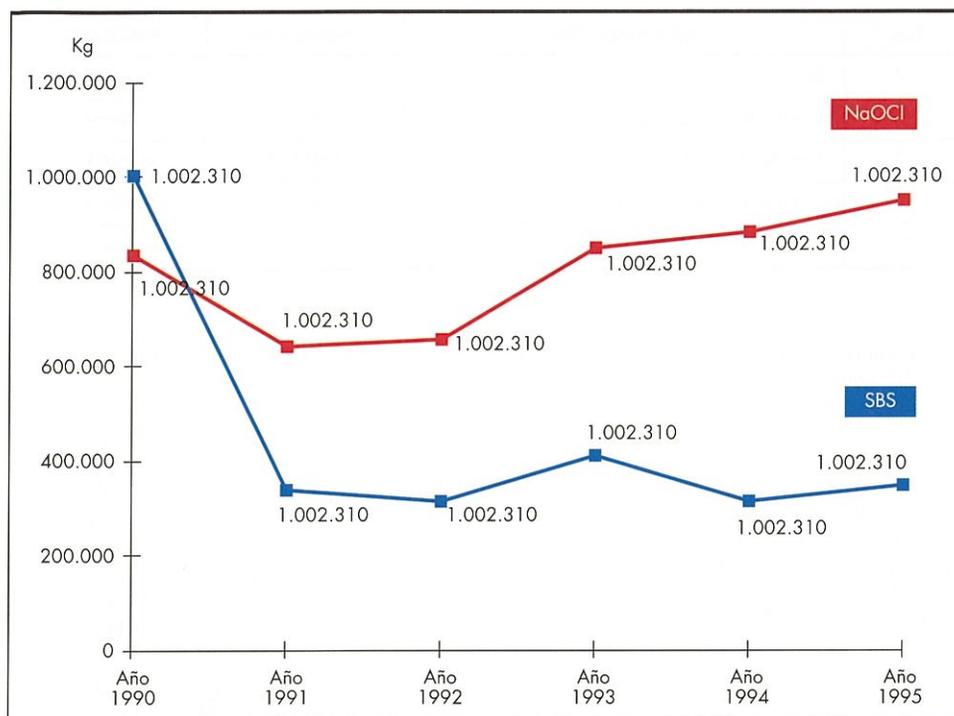


GRAFICO 2. Consumo de hipoclorito sódico y bisulfato sódico.

Los seis bastidores de ósmosis inversa están formados por una doble etapa, de manera que el rechazo de salmuera de la primera etapa es la alimentación de la segunda etapa, mientras que el rechazo de la segunda etapa es la alimentación a la turbina de recuperación de energía.

d) Bombeo a ciudad

El bombeo del agua desalada se realiza con cuatro bombas horizontales centrífugas (una de reserva) que impulsan el agua desde un depósito de 2.000 m³/día hasta los depósitos del Sabinal para su distribución, a 180 metros de altura geométrica.

3. CONCLUSIONES AL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

3.1. VIABILIDAD DE LA INSTALACIÓN DESALADORA

Las plantas de ósmosis inversa han demostrado su capacidad para desalar el agua de mar cuando la captación se realiza a través de un pozo costero. En tal caso, el agua captada suele tener muy poca o nula materia en suspensión, siendo escaso igualmente su contenido en materia orgánica.

Cuando la toma de agua de mar es superficial, como es nuestro caso, la situación cambia por completo. El agua de mar superficial presenta elevados contenidos tanto de sustancias en suspensión como de materia orgánica, lo que favorece la aparición de desarrollos biológicos y sedimentos en las membranas de ósmosis inversa.

Numerosos autores han cuestionado la viabilidad y la conveniencia de construir plantas desaladoras de agua de mar por ósmosis inversa cuando la toma se hace superficialmente.

Otro parámetro fundamental para cuestionar la idoneidad de la instalación desaladora de agua de mar "Las Palmas III", era que al ser la primera instalación por ósmosis inversa que se instalaba en Canarias y por supuesto en España, con una capacidad de producción importante, existían temores de que al no contar con referencias ni experiencias anteriores en la operación y mantenimiento de la planta, ésta pudiera quedar con problemas de funcionamiento.

No obstante, con el transcurrir de los años se ha podido comprobar que la instalación desaladora de agua de mar fue perfec-

tamente concebida y diseñada para poder funcionar con una toma de agua de mar superficial.

Además, la gestión y explotación de la instalación por parte de la empresa explotadora PRIDESA, ha sido satisfactoria aún a pesar de las inflexibilidades y rigideces del contrato de explotación con el Ayuntamiento, elaborado bajo otra visión conceptualmente distinta a los tiempos de hoy.

Ello quiere decir, que a pesar de todos los pesares, hay que saber convivir con los problemas que se deriven de una captación de agua de mar superficial para una instalación desaladora por ósmosis inversa, basado en una buena formación y conocimiento de dicha tecnología que permita corregir las desviaciones del proceso tecnológico, haciendo perfectamente viable y eficaz una instalación de dichas características.

3.2. EQUIPOS BÁSICOS DE LA INSTALACIÓN

Una de las novedades principales que cuenta la instalación desaladora de agua de mar "Las Palmas III", es su amplio y complejo pretratamiento físico químico, con objeto de hacer frente a las especiales características del agua de mar. Su funcionamiento ha sido excelente, aunque habría que destacar, la filtración por precapa que permitía mantener el valor del SDI del agua pretratada por debajo de tres. Ello implicaba una menor reposición de los cartuchos filtrantes, tanto en los filtros de precapa como en los filtros de seguridad, con una frecuencia inicial de dos años y por último cada año.

En cuanto a la dosificación de reactivos químicos, el de mayor incidencia en el consumo era el bisulfito sódico, que tenía la misión fundamental de neutralizar la acción oxidante del cloro libre residual aportado aguas abajo como hipoclorito sódico. Aunque inicialmente no se respetaba la dosis estequiométrica entre el agente oxidante y el reductor, se pudo contrastar que las dosis altas de bisulfito sódico no aportaba mejorías en el funcionamiento de las membranas de ósmosis inversa, contrario a lo que se esperaba.

Es más, una vez neutralizado estequiométricamente el cloro libre residual con bisulfito sódico, todo el exceso sobrante de bisulfito sódico actuaba como elemento nutriente en el desarrollo bacteriológico que se daba posteriormente en las membranas.

TABLA II.

Uds.	DENOMINACIÓN	CAUDAL m ³ /h	FABRICANTE
7	Bombas de captación agua de mar autocebadas	560	Worthington
7	Bombas booster de agua filtrada	560	Wernet
7	Turbobombas 6 X 13 DAD - 4 X 11 DAT	560-310	Ingersoll-Rand
4	Bombas de impulsión a ciudad	630	Worthington
21	Bombas dosificadoras	variable	Dosapro MR

En cuanto a los equipos electromecánicos principales de la instalación desaladora "Las Palmas III", podemos recogerlos en la Tabla II siguiente, reflejando en ella el suministrador fabricante de los distintos equipos.

El mantenimiento preventivo y correctivo adecuado a la instalación desaladora permitía minimizar el número de anomalías y averías, sobre todo de aquellas que podían ser consideradas como graves por su repercusión económica y la merma de producción. Además la revisión general de los equipos una vez al año, durante la parada programada de mantenimiento por los distintos fabricantes de los equipos suministrados garantizaban el buen funcionamiento de los mismos.

Habría que destacar que en el período de seis años, se registraron un alto número de incidencias con la compañía suministradora de energía eléctrica, cuyo resultado era la parada de la instalación, aunque por corto período de tiempo, por problemas en el suministro del fluido eléctrico.

Cabe mención especial el desafortunado incidente que produjo una avería en cadena ocurrido con los motores de accionamiento eléctrico de las turbobombas en el pasado mes de Octubre de 1993, lo que provocó una importante reducción al 50% de su capacidad de producción. Al parecer, aunque la causa no está claramente definida, se dieron conjuntamente una serie de circunstancias negativas, en la demanda de potencia por la puesta en marcha de la instalación desaladora y los recursos disponibles por la compañía eléctrica.

Por otra parte podríamos argumentar de acuerdo con la gráfica de horas de funcionamiento de los trenes de alta presión, el factor de utilización era muy alto, siendo del 98%.

Por último, en cuanto al funcionamiento de las membranas de ósmosis inversa de arrollamiento en espiral instaladas en "Las Palmas III", podemos comentar los siguientes aspectos :

- I. El diseño de los módulos de membranas en una doble etapa, para conseguir un factor de conversión del 45%, no es el más recomendable actualmente, dado que se puede trabajar con mejores resultados con agua de mar con un factor de conversión inferior, del orden de 40-42%, en una sola etapa.
- II. La experiencia ha demostrado que los problemas de alta salinidad se suelen dar con mayor frecuencia en las membranas instaladas en la segunda etapa, pero que sin embargo el envejecimiento prematuro de la membrana ocurre con las membranas instaladas en la primera etapa.
- III. La gran mayoría de las membranas de arrollamiento en espiral eran del fabricante DOW CHEMICAL, habiendo demostrado éstas su gran resistencia al primer envite de operación así como al deterioro progresivo de las frecuentes limpiezas químicas de los módulos. Posteriormente se instalaron membranas de otros fabricantes, tales como, HYDRANAUTICS, UOP, etc., de una nueva generación y con mejores prestaciones.

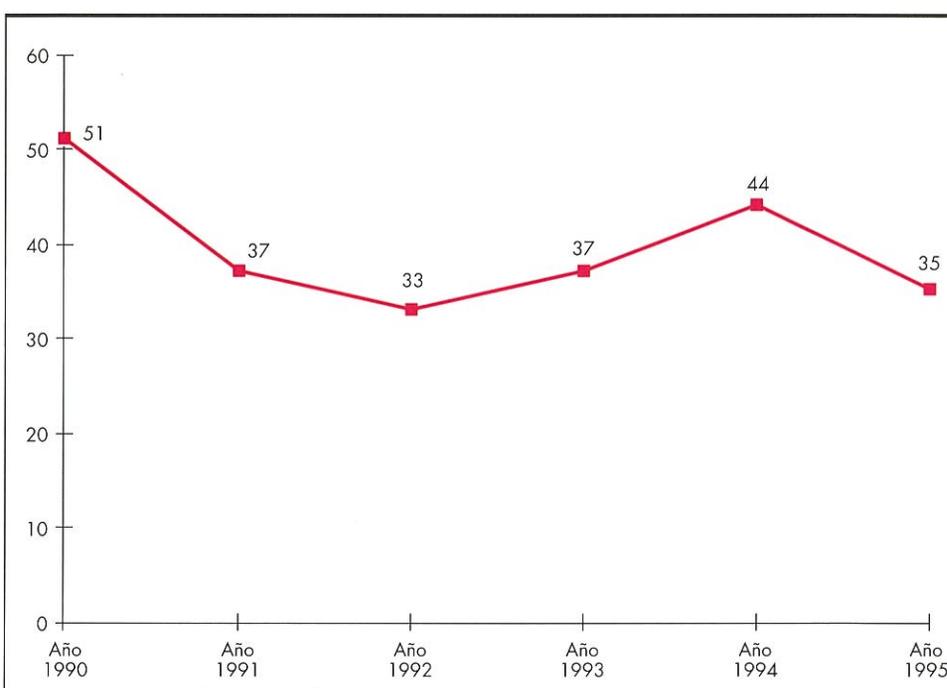


GRAFICO 3. Limpieza química de bastidores.

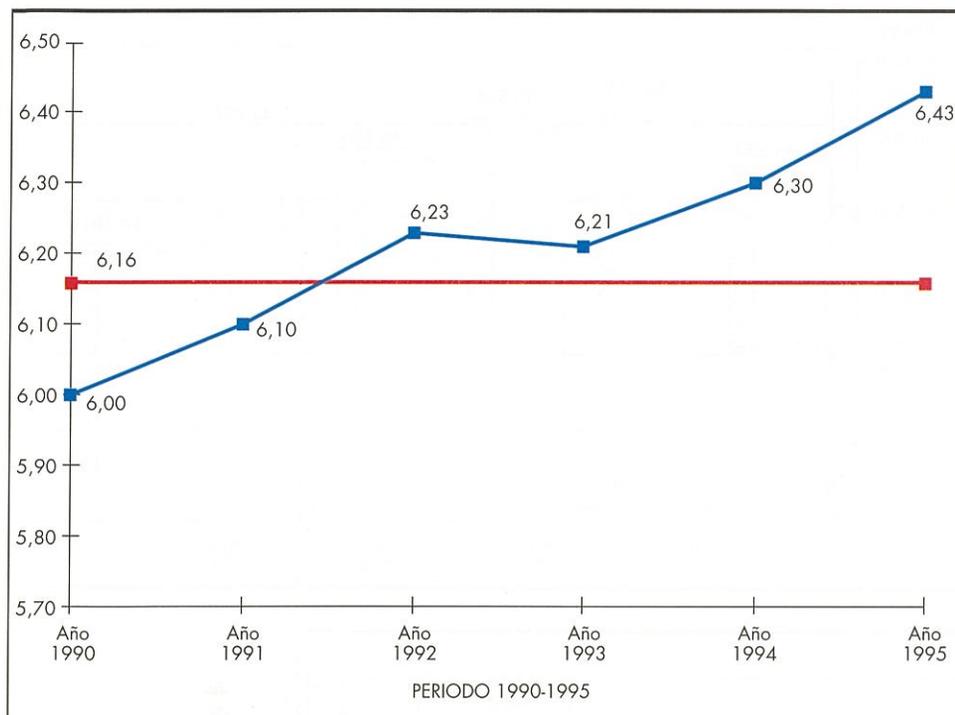


GRAFICO 4. C.E. Kw-h/m³ agua producida.

- IV. El conocimiento adquirido que permitía contrastar el tipo de ensuciamiento que se producía en la superficie de las membranas de arrollamiento en espiral y la sistemática metodología de limpiezas químicas dieron como resultado una estabilización del número de limpiezas químicas, una mayor vida útil de la membrana y por último, una menor tasa de reposición.
- V. La producción de agua potable así como su salinidad durante dicho período se observan en las gráficas correspondientes, haciendo especial hincapié que estas e ven condicionadas a la temperatura del agua bruta de mar y a las condiciones de inflexibilidad que por ambas partes se recogen en el contrato de explotación, de manera que se premien otros intereses.

4. COSTES DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO

El coste del metro cúbico desalada con el proceso de Osmosis Inversa, depende de numerosos factores como el tamaño de la planta, el diseño, el tipo de toma, etc.

Para profundizar en el estudio del costo del metro cúbico del agua desalada, desglosamos los conceptos que intervienen en el costo del mismo.

4.1. COSTOS FIJOS

AMORTIZACIÓN

Consideraremos solamente la amortización de la inversión realizada parcialmente por la empresa adjudicataria PRIDESA, relativa a los 12.000 m³/día de producción, esto es la 5ª y 6ª línea de producción, teniendo en cuenta el costo del total de los 36.000 m³/día de producción y el tiempo de amortización previsto que era de diez años.

Costo de amortización de los 12.000 m³/día restantes = 55 ptas/m³

PERSONAL

El costo del personal depende fundamentalmente del tamaño de la planta, siendo la dedicación del personal de explotación y mantenimiento total y con carácter exclusivo. En el caso

de "Las Palmas III", el número de personas integradas eran las que figuran en la Tabla III:

4.2. COSTOS VARIABLES

REACTIVOS

El consumo de reactivos y el costo de los mismos por metro cúbico de agua desalada dependen de la calidad del agua de mar de partida y, por tanto, del origen del agua y del tipo de captación realizado.

Aunque el tamaño de la planta tiene poca influencia en el costo del metro cúbico por este concepto, sin embargo la economía que se produce se debe a la obtención de un mejor precio para el reactivo gracias al elevado consumo.

De acuerdo con las dosis previstas de consumo de reactivos, el coste debido a los reactivos es del orden de 6,5 ptas./m³.

ENERGÍA ELÉCTRICA

El consumo específico de energía, incluido la elevación del agua producida hasta los depósitos de distribución, era de 6,16 kw-h/m³.

Personal de Dirección	2 persona/s
Personal de Administración	1 persona/s
Personal de Laboratorio	1 persona/s
Personal de Operación: 5 turnos x 2 personas/turno	10 persona/s
PERSONAL DE MANTENIMIENTO	
Mantenimiento eléctrico e instrumentación	2 persona/s
Mantenimiento mecánico y de PRFV-PVC	3 persona/s
Mantenimiento: peonaje y varios	5 persona/s
Total	24 persona/s
Coste de personal de operación y mantenimiento	10 ptas/m ³

TABLA III.

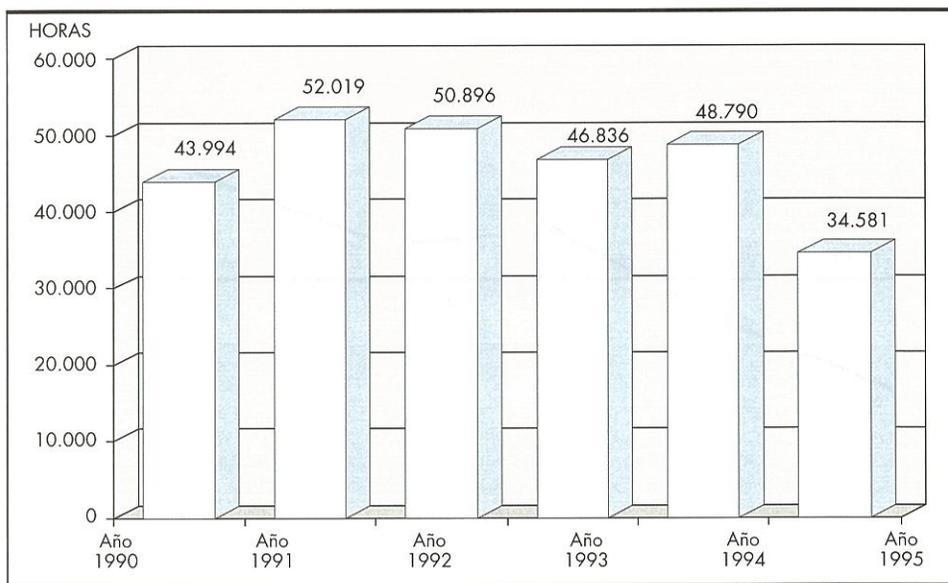


GRAFICO 5. Horas totales de funcionamiento de los trenes de alta presión.

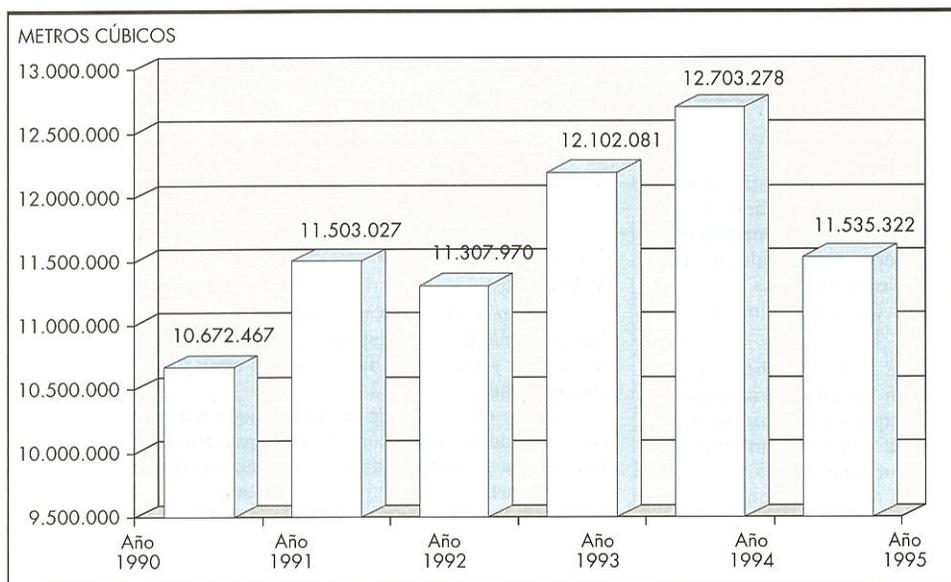


GRAFICO 5. Horas totales de funcionamiento de los trenes de alta presión.

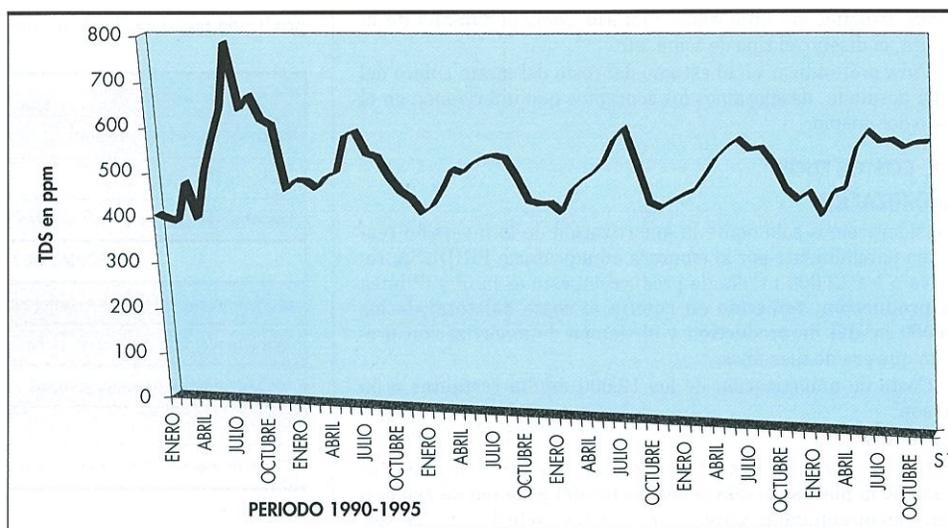


GRAFICO 5. Horas totales de funcionamiento de los trenes de alta presión.

SEIS AÑOS DE FUNCIONAMIENTO CONTINUO EN LA POTABILIZADORA LAS PALMAS III

CAPACIDAD DE INSTALACIÓN	24.000 m ³ / día	12.000 m ³ / día
COSTOS FIJOS		
AMORTIZACIÓN		55,0 Ptas / m ³
PERSONAL	10,0 Ptas / m ³	10,0 Ptas / m ³
TOTAL COSTOS FIJOS	10,0 Ptas / m³	65,0 Ptas / m³
COSTOS VARIABLES		
REACTIVOS	6,5 Ptas / m ³	6,5 Ptas / m ³
ENERGÍA ELÉCTRICA	61,6 Ptas / m ³	61,6 Ptas / m ³
REPOSICIÓN DE MEMBRANAS Y MANTENIMIENTO	13,5 Ptas / m ³	13,5 Ptas / m ³
TOTAL COSTES VARIABLES	81,6 Ptas / m³	81,6 Ptas / m³
TOTAL COSTOS	91,6 Ptas / m³	146,6 Ptas / m³

TABLA IV. Coste de explotación.
Período 1990-1995.

Por otro lado, considerando que el precio de la energía ronda las 10 ptas./kw, tendríamos un coste de energía eléctrica de 61,6 ptas./m³.

REPOSICIÓN DE MEMBRANAS Y MANTENIMIENTO

La experiencia ha demostrado que aunque en los primeros años de funcionamiento de una instalación de O.I., el grado de reposición es bajo, a medida que va aumentando la edad media de las membranas, se va incrementando el grado de reposición, no sólo de las instaladas originalmente sino también de las de replazo.

Para "Las Palmas III", el grado de reposición era del 15%, teniendo en cuenta las condiciones del agua de alimentación.

En cuanto al mantenimiento, se incluyen los consumibles, material de mantenimiento, contratos de asistencia con los fabricantes, etc.

El coste debido a la reposición de membranas y al mantenimiento era de 13,5 ptas./m³.

4.3. COSTES TOTALES

En el cuadro siguiente se resume el costo total aproximado del metro cúbico de agua desalada para la instalación desaladora de las características "Las Palmas III".

Únicamente pretende dar una visión global de los costes de explotación que en primera instancia se afrontaba en este tipo de instalación frente a otras instalaciones tradicionales.

Cabe destacar la alta incidencia del coste de la energía eléctrica en el metro cúbico del agua desalada, debido a un consumo específico de energía que hoy día se puede reducir enormemente, con el avance tecnológico experimentado por la Ósmosis Inversa en la última década, tanto en el diseño del proceso como en los equipos de bombeo de alta presión y turbinas de recuperación de energía.

5. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Se adjuntan los gráficos correspondientes a los parámetros de funcionamiento fundamentales de la instalación desaladora "Las Palmas III", durante los seis primeros años de vida de la misma.

REFERENCIAS

1 Pridesa. Planta Potabilizadora LAS PALMAS III. Datos de Operación y Explotación. 1989 - 1996.