

Planta de tratamiento para la recuperación y reuso de vertidos urbanos e industriales en Canarias con procesos terciarios.

“Proyecto LIFE 92-E-005: primera fase”

A. GÓMEZ; C. ARGUDO; E. VALLEJO(*)

RESUMEN Como parte experimental del Proyecto LIFE luego de la construcción de experiencias en sistemas a escala de laboratorio, posteriormente de una planta piloto de 40 m³ que nos ha permitido optimizar los parámetros necesarios para el análisis de la ingeniería, extrapolar los resultados y desarrollar una planta de tratamiento de 500 m³ que incluya los procesos terciarios que existen en la actualidad inclusive los de última generación; su operación secuencial y una posterior integración de todas las unidades a partir del efluente de la Estación Depuradora Guía-Gáldar en Las Palmas de Gran Canaria.

El proceso consta de un tratamiento mediante un sistema compacto que abarca las operaciones primarias de floculación-clarificación-filtración, que garantiza el efluente a tratarse en las siguientes etapas que son los procesos terciarios incluido el de desinfección por U.V., en la fase inicial se ha tratado con un equipo de Electrodiálisis Reversible (con producción de 100 m³ por día), ultrafiltración (430 m³/día) y Osmosis Inversa (210 m³/día). En la segunda fase, se obtiene agua ultrapura usando equipos de Intercambio Iónico (50 m³/día) y Electrodesionización (50 m³/día) previo las dosis necesarias del desinfectante.

En su fase inicial, se obtiene cuatro tipos de agua, las mismas que sirven para realizar experiencias agrícolas en cultivos específicos. La factibilidad de controlar cantidad y calidad permite satisfacer la demanda en usos similares, el acoplamiento de las otras fases nos permiten otorgar ocho calidades de agua diferentes hasta llegar a un agua ultrapura, aportando versatilidad y flexibilidad de operación de acuerdo a las normativas más exigentes.

Un control de calidad exhaustivo de unos cuarenta parámetros e índices garantizan la operación de las unidades, su evaluación técnica y análisis económico específicos, establecen rangos de trabajo para diversos fines, su posterior difusión complementará uno de sus objetivos valorando en ese entorno la protección de los recursos.

Se ha introducido variantes necesarias que individualizan el proyecto debido a las características propias de las Islas, el tipo de efluente y la aplicación de la producción, se completará el proyecto con el acoplamiento de la Nanofiltración y de desinfección por ozono en cabecera del sistema con lo que se cubrirá todo el rango de procesos, que constituyen un laboratorio experimental único por sus características y aplicaciones.

El proyecto ofrece aportaciones tecnológicas innovadoras, soluciones eficaces que son de especial interés en zonas donde la demanda de agua supera los recursos, la ingeniería en este caso no solo ha sido de demostración sino de utilidad real y práctica.

TREATMENT PLANT FOR RECOVERY AND REUSING URBAN AND INDUSTRIAL WASTES IN THE CANARY ISLANDS WITH TERTIARY PROCESSES

ABSTRACT As experimental part of the LIFE project after getting experiences in laboratory scale systems, a pilot plant of 40 m³ that has allowed us to get the necessary parameters for the engineering analysis, extrapolate the results and developing a treatment plant of 500 m³ including the tertiary processes that exist nowadays including the last generation ones; its sequential operation and an integration of all the units using the effluent on the purifying plant “Guía-Gáldar” in Las Palmas de Gran Canaria.

The process has a compact system treatment that involves the flocculation-clarification-filtration, that guarantees the effluent to be treated in the upcoming stages that are the tertiary processes including disinfection by U.V., in the beginning a reversible electro dialysis equipment has been used (100 m³/day production), ultrafiltration (430 m³/day) and reverse osmosis (210 m³/day). In the second stage ultrapure water is obtained using ionic exchange equipment (50 m³/day) and electrodeionization (50 m³/day) before the necessary disinfectant dosing.

In its initial phase, four kinds of water are obtained, the same used for making agricultural experiences in specific cultivation. The factability of controlling quantity and quality allow to satisfy the demand in similar uses, the coupling of the other phases allow us to deliver eight different water qualities until reaching an ultrapure water, with versatility and flexibility matching the hardest normative.

Exhaustive quality control of about forty parameters and indexes guarantee the units operation, its specific technical evaluation and economical analysis set work ranges for different aims, its later diffusion will complement one of its aims valorating on that surrounding resources protection.

Needed variants that individualize the project due to the island characters, effluent kind and production application have been included, project will be completed with nanofiltration and ozone disinfection at the head of the system. It will cover the whole processes range, that are an unique experimental laboratory because of its characteristics and applications.

The project offers innovating technological aportations, efficient solutions that have special interest in the areas where water demand is superior to the resources, engineering this time has been not only for demonstration but has had real and practical utility.

Palabras clave: Planta piloto; Terciarios; Floculación; Clarificación; Filtración; Electrodiálisis; Ultrafiltración; Nanofiltración; Osmosis inversa; Electrodesionización.

1. EVALUACIÓN DEL PRETRATAMIENTO

El agua de alimentación al sistema proviene de la EDAR de la localidad de Gáldar, que realiza un tratamiento secundario con

capacidad de 3.000 m³ y un rendimiento del 95%, considerando la concentración de DBO₅, y la de partículas sólidas en suspensión. Se dispone, por tanto, de datos históricos representativos de la calidad del agua.

Se realizan dosificaciones químicas de cloruro férrico, polielectrolito e hipoclorito de sodio. Dado que el agua tiene un pH de 6-7,5 no resulta necesario añadir el modificador. Es necesario

(*) SEMAI. Departamento de Ingeniería de Procesos. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.



Planta de tratamiento "Proyecto LIFE 92-E-005: Primera Fase".

operar con procesos de floculación, clarificación y filtración para reducir la cantidad de materia orgánica en suspensión y los rangos de turbiedad bajo los 5 NTU, necesarios para la obtención de resultados óptimos en los procesos de Electrodialisis Reversible y Osmosis Inversa y reducción de la alcalinidad como carbonato cálcico.

Usando ensayos de tratabilidad, se determinaron los parámetros óptimos para la dosificaciones, estos tests incluyen la dosificación óptima de coagulante, concentración óptima de coagulante, la dosificación de polielectrolito, pH óptimo, tiempos de mezcla rápida, floculación y parámetros de sedimentación e índices de filtrabilidad, así como las dosis de desinfectantes.

2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La planta, en esta fase, incluye un sistema llamado Cristal "M". Su efluente alimenta los sistemas de Electrodialisis Reversible y de ultrafiltración. La calidad del agua suministrada por la EDAR, hizo necesaria la implementación del sistema Cristal "M" previo al paso del agua por la unidad de Osmosis Inversa. Se añadió un bypass para usarlo en las ocasiones en que la calidad del agua es aceptable y como un elemento adicional de flexibilidad en el sistema en general.

2.1. CRISTAL "M"

La característica principal de estas plantas es que utilizan uno o más módulos de clarificación capaces de operar en paralelo. Cada módulo contiene todas las etapas comunes de clarificación, dosificación de reactivos en agua bruta, floculación, sedimentación y filtración.

El módulo estándar contiene un mezclador estático de diafragma, que difunde rápidamente el coagulante inyectado, y un floculador cuya parte inferior tiene un colector de lodos que incluye una tubería de extracción, lo que permite que la unidad opere como cámara de extracción.

La unidad es agitada por una turbina de palas verticales y posee un decantador lamelar con un tanque de lodos y extracción manual. El volumen es el suficiente como para limitar las intervenciones del lavado a dos por día en condiciones normales de agua bruta, i.e. velocidad constante y filtro de cabecera variable retrolavado por agua y aire. (Tabla 1).

2.2. ELECTRODIÁLISIS REVERSIBLE

La Electrodialisis Reversible (ER) es un proceso electroquímico en el que los iones son transferidos a través de membranas desde el agua de alimentación hasta la salmuera por medio de una corriente eléctrica continua, está diseñado para producir agua desmineralizada sin adición constante de productos quími-

Flujo nominal:	36 m ³ /hora
Floculación, tiempo de contacto:	>20 min.
Superficie de decantación:	8 m ²
Velocidad de sedimentación:	4,5 m/hora
Superficie de filtración:	6 m ²
Velocidad de filtración:	6 m/hora
Flujo de agua de lavado:	60 m ³ /hora
Velocidad de agua de lavado:	20 m/hora
Flujo de aire de lavado:	180 m ³ /hora
Duración del lavado:	8-10 min.
Volumen de agua de lavado:	12 m ³

TABLA 1. Parámetros de operación.

cos durante la operación normal. En la ER, la polaridad se invierte cada 18 minutos, evitando la incrustación de sales sobre los electrodos y reduciendo el índice de ensuciamiento.

La planta ER de IONICS, modelo AQUAMITE V, produce alrededor de 80-120 m³ de agua por día, con un contenido de sólidos disueltos de menos de 500 mg por litro y una recuperación hidráulica del 75-85%. Se compone de 320 pares de celdas, cada una de las cuales contiene:

- Una membrana de transferencia iónica
- Un espaciador para agua desmineralizada
- Una membrana de transferencia catiónica
- Un espaciador de salmuera.

El consumo de electricidad depende de la cantidad de sales transferidas desde el agua de alimentación a la salmuera. (Tabla 2).

2.3. ULTRAFILTRACIÓN

La baja calidad del agua de alimentación, con una turbidez de 150 unidades al ingresar a la unidad de tratamiento y un rendimiento del 90% del Cristal "M", condujo a la instalación de un tratamiento específico anterior a unidad de OI. En este caso se escogió la ultrafiltración debido a su versatilidad y su capacidad para soportar el ensuciamiento con membranas diseñadas para este proyecto. El sistema incluye unidades de pretratamiento adecuadas a las características del agua, dosificación de reactivos

Flujo del agua de alimentación:	5 m ³ /hora
Flujo del agua producto:	4 m ³ /hora
Porcentaje de recuperación:	75-85%
Etapas eléctricas:	2
Tapas hidráulicas:	4
Disposición de los pares de celdas:	85/75/85/75
Límite de la densidad de corriente:	4 Amp
Superficie de la membrana:	45,7 - 101,6 cm
Espaciadores (modelo):	MK III-3

TABLA 2. Características técnicas.

vos, dos unidades presurizadas de filtración y un filtro de cartucho. (Tablas 3 y 4).

Tipo de bomba:	Centrífuga vertical
Flujo de diseño:	13,4 m ³ /hora
Presión de diseño:	21 Kg/cm ²
Presión máxima:	25 Kg/cm ²

TABLA 3. Bomba de presión.

Nº de tubos de presión:	7
Nº membranas en tubo:	6
Nº de etapas por línea:	3
Configuración:	4/2/1
Nº de membranas:	42
Filtro de cartucho:	5 micras

TABLA 4. Módulo de ultrafiltración.

2.4. ÓSMOSIS INVERSA

La Osmosis Inversa (OI) es un proceso de tratamiento avanzado que elimina materia coloidal y en suspensión y parte de la materia disuelta. Estos beneficios se obtienen usando membranas semi-permeables a presiones que dependen de la concentración de sales en el agua de alimentación.

El sistema incluye unidades de pretratamiento, incluyendo dosificación de reactivos, dos unidades de filtración presurizada y un sistema de desinfección UV.

La planta tiene membranas de poliamida de arrollamiento en espiral, modelo "BW30-4040", fabricadas por Filmtec. (Tabla 5).

El sistema incluye una bomba de alta presión, 7 tubos de presión, cada una con 6 elementos de membranas. Los tubos de presión están colocados en la clásica configuración 4/2/1, de tres etapas. Previa a las bombas de agua de alimentación, existe un filtro de cartucho de 5 micras que protege del ensuciamiento coloidal o en suspensión que pueda haber escapado de los filtros principales. (Tablas 6 y 7).

2.5. EQUIPO DE DESMINERALIZACIÓN

Con el fin de obtener agua de alta calidad, se conectó en línea un módulo RM-440 AR de desmineralización. Esta se alimenta

Configuración:	Arrollamiento en espiral
Tipo de membranas:	Membranas planas / ultradelgadas
Capacidad inicial agua producto:	6,8 m ³ /día
Rechazo de sales (nominal):	98 %
Presión máxima de operación:	600 psi
Temperatura máxima operación:	45° C
Rango de pH:	2-11
Flujo máximo de alimentación:	60 l/min.
Conversión:	15 %

TABLA 5. Especificaciones de las membranas.

Tipo de bomba:	Centrífuga vertical
Flujo de diseño:	13,5 m ³ /hora
Presión de diseño:	21 Kg/cm ²
Presión máxima:	25 Kg/cm ²

TABLA 6. Bombas de alta presión.

Nº de etapas por línea:	3
Configuración:	4/2/1
Nº de membranas:	32
Tipo de membranas:	Arrollamiento en espiral, poliamida

TABLA 7. Módulos de ósmosis inversa.

del producto del módulo de OI. El equipo de desmineralización se compone de:

- Equipo de distribución de agua bruta de la solución regeneradora de aire para la mezcla de resinas.
- Carga de resina catiónica poliestirénica fuerte
- Carga de resina aniónica fuerte de tipo amoniaco cuaternario
- Carga de resina inerte.

El equipo está protegido por un autómatas programable con la protección y disposición de señalización necesarios. (Tabla 8).

Flujo (min./máx.):	2-3 m ³ /hora
Presión de operación (min./máx.):	2,5 - 4 bar
Pérdida de carga a flujo máximo:	10 mca
Catiónica, BCF - 1200,	40 l.
Aniónica, BAC - 4100,	80 l.
Ciclo de agua con ST = 2° F:	140 m ³
Consumo de HCl con 30% de regeneración:	14 Kg
Consumo de NaOH a 100 % de regeneración:	7 Kg
Flujo de mezcla de aire:	6,25 m ³ /hora
Consumo de agua por regeneración:	2,50 m ³ /hora

TABLA 8. Características.

2.6. SISTEMAS DE DESIONIZACIÓN CONTÍNUA

Los sistemas de desionización son usados continuamente para la producción de agua de alta pureza. Usan membranas de intercambio iónico, resinas y electricidad. La corriente directa (DC) provee la energía necesaria para eliminar los iones del agua de alimentación al tiempo que se regenera el paquete de resina. (Tabla 9).

Especificaciones del sistema:

Las unidades de DIC pueden ser configuradas para obtener la velocidad de flujo deseada. Al variar la velocidad de flujo por la unidad de DIC cambiará la resistividad del agua producto. La recuperación de producto para todos los módulos puede llegar hasta el 95% con agua de alimentación de OI.

Velocidad de flujo del producto:	38 /min.
Recuperación del producto:	80-95%
Caída de presión a 25 °C, psi:	8
Porcentaje de eliminación de sales:	
Alimentación OI < 50 µmbo/cm:	> 99
Alimentación OI < 500 µmbo/cm:	> 98
Alimentación OI < 1.000 µmbo/cm:	> 95

TABLA 9. Características. Modelo H060.

2.7. SISTEMA DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La desinfección de agua por radiación ultravioleta es un procedimiento físico, constituye una de las franjas del espectro electromagnético; la irradiación de los gérmenes presentes en el agua provoca una serie de daños en su molécula de ADN impidiendo la división celular. (Tabla 10).

Caudal:	18 m³/h.
Cámara Irradiación:	9 tubos cuarzo 9 lámparas germicidas
Presión máxima:	10 Kg/cm²
Consumo Energía:	228 W x h.
Potencia U.V.	150 W. U.V.

TABLA 10. Especificaciones del generador AQ 65 W.

3. PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS

Los resultados ofrecidos por el sistema de tratamiento luego de seis meses de operación que incluye la innovación técnica del sistema primario "Cristal M" a la salida de un efluente secundario debido a las características del agua de alimento que aportaba valores de turbiedad superiores a la normativa en exceso, igual la incidencia directa en la desinfección por el grado de opacidad que incide en la operación.

El agua producto de los sistemas de OI y ER se están utilizando en plantaciones de bananos en un proyecto experimental. Al ser un cultivo sensible y que requiere agua de óptima

calidad < 500 uS/cm los resultados se observan cuantitativa y cualitativamente y serán indicativos prácticos para su uso. En la actualidad el Consorcio Insular de Aguas ha puesto en marcha un proyecto de riego de plataneras con el agua procedente de la experiencia de los procesos de Electrodiálisis y Osmosis Inversa sus evaluaciones son un indicativo de su mediata aplicación, así como los diferentes tipos de agua que se produce (ver figuras 1 y 2).

3.1. EVALUACIÓN DEL SISTEMA PRIMARIO (CRISTAL "M")

Una serie de pruebas de tratabilidad se han realizado para obtener las condiciones óptimas de funcionamiento de la planta, parámetros que simulan en laboratorio condiciones de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración y su aplicación mediata en planta. (Tabla 11).

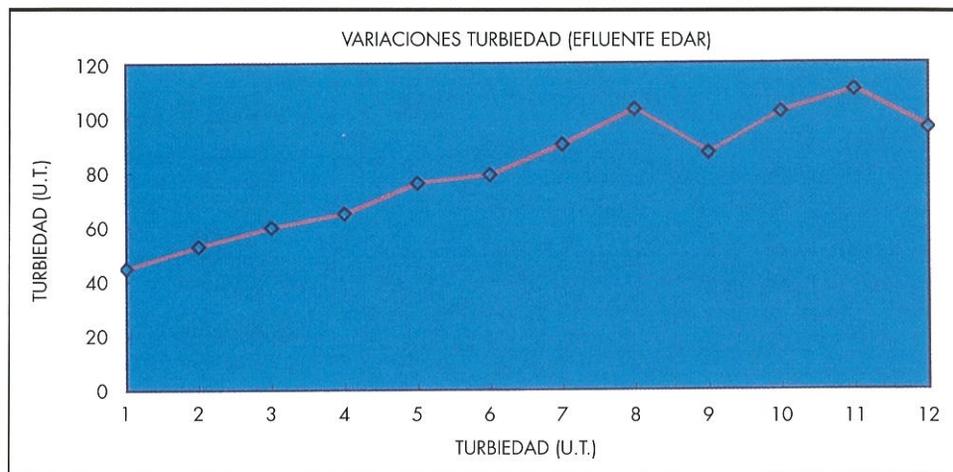
Turbiedad:	90 FTU
pH:	7,03
Temperatura:	20,7° C
Conductividad:	1.362 µs/cm
Alcalinidad:	300 mg/l.
Dureza Total:	146 mg/l.
Dureza Cálctica:	106 mg/l.
Calcio:	42,4 mg/l.
Magnesio:	9,7 mg/l.
Cloruros:	400 mg/l.
Indice Langelier:	-0,29

TABLA 11. Datos iniciales.

Los parámetros referenciales (Tiempo de mezcla rápida, floculación, tiempos de residencia) que se trabajan en planta, se han simulado en condiciones reales de funcionamiento (ver figuras 3 y 4). (Tabla 12).

La figura 4 nos da un indicativo del coadyuvante óptimo, en este caso es un coagulante en bajas concentraciones el ALP, otros ensayos con polielectrolitos da resultados poco eficientes en eliminación de turbidez para esta calidad de agua.

FIGURA 1. Variaciones de la turbidez después de 10 horas Operación de la EDAR de Guía-Gáldar.



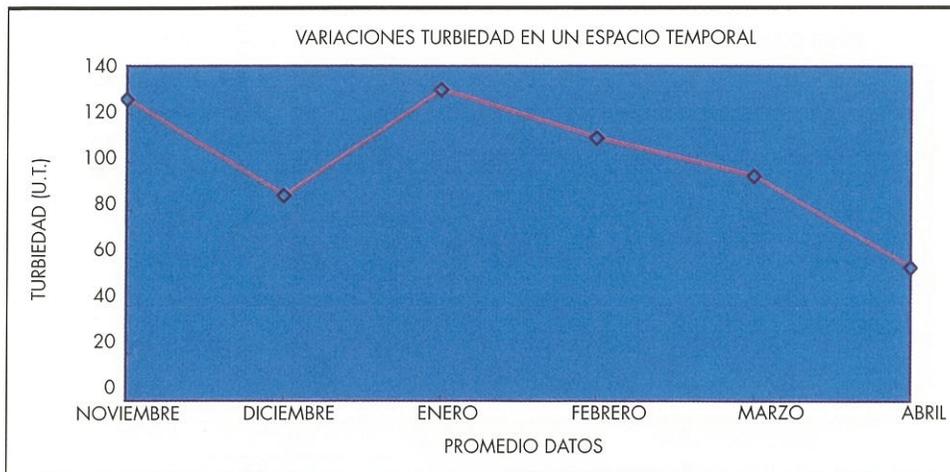


FIGURA 2. Variaciones de turbiedad (6 meses de operación).

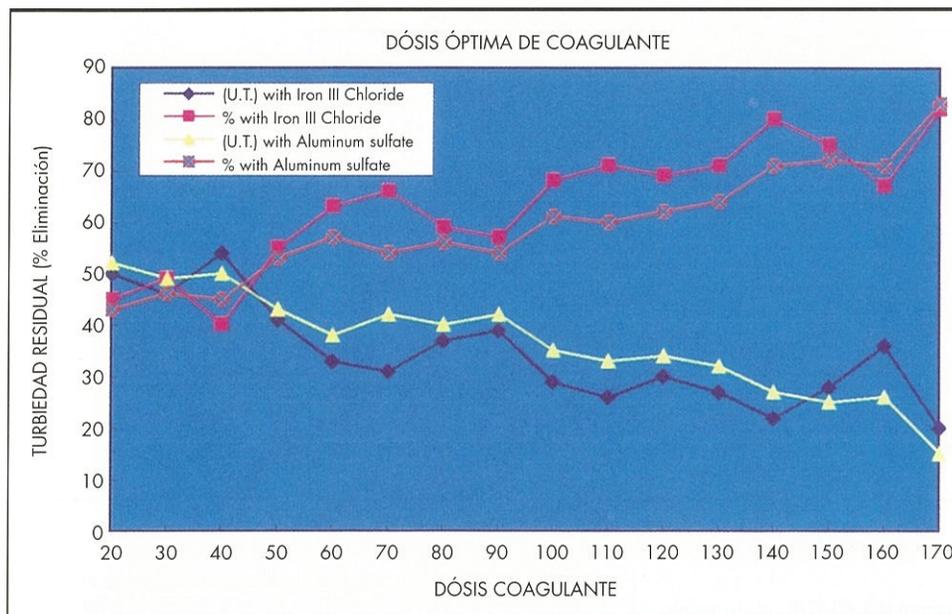


FIGURA 3. Relación dosis óptima entre coagulantes: Cloruro Férrico y Sulfato de Aluminio (Porcentajes de eliminación).

Mezcla Rápida:	200 r.p.m.	Tiempo: 2 min.
Floculación:	10 r.p.m.	Tiempo: 20 min.
Sedimentación:		Tiempo: 10 min.
Coagulante:	Cloruro Férrico 1 %	
Polielectrólito:	Prosedim AS 77	
Parámetro Índice:	Turbiedad	

TABLA 12.

3.2. OPERACIÓN DEL PROCESO DE LA ELECTRODIÁLISIS REVERSIBLE

El proceso físico químico se realiza en el Cristal "M", para un caudal de 480 m³/d, de éste 130 m³/d son utilizados por la unidad de EDR, las dosis de químicos en el primario son:

Cloración: Hipoclorito de Sodio en cabecera del "Cristal M" dosis de 4-5 ppm.

Coagulante: Cloruro Férrico; Dosis de acuerdo a calidad del agua (70-110 ppm).

Coadyuvante: ALP en dosis de 0,5 ppm.

Electrodos (EDR): Acido clorhídrico 60 ml/m³ de agua producida.

Conversión

Se produce agua de conductividad inferior a 500 µs/cm, y su conversión está entre 73-86%.

Caudal alimento: 4,8 - 5,2 m³/h

Caudal producto: 3,5 - 4,0 m³/h.

Como observamos en la figura 5, existe variaciones considerables en la conversión durante las primeras 40 horas de operación, logra estabilizarse a partir de 80 horas de trabajo, los cartuchos de la unidad de microfiltración son cambiados cada 100 horas de funcionamiento.

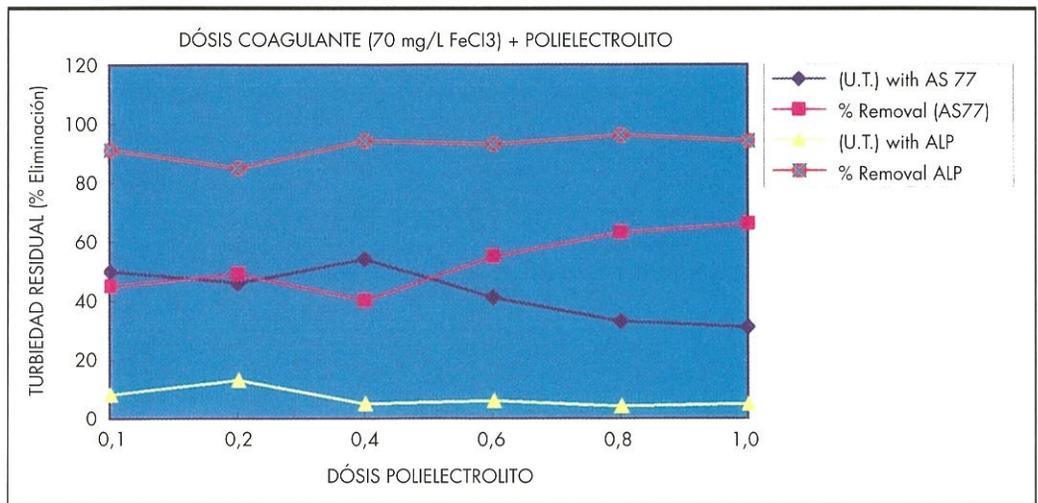


FIGURA 4. Porcentajes de eliminación de turbiedad con polielectrolitos: Prosedim AS77 y ALP.

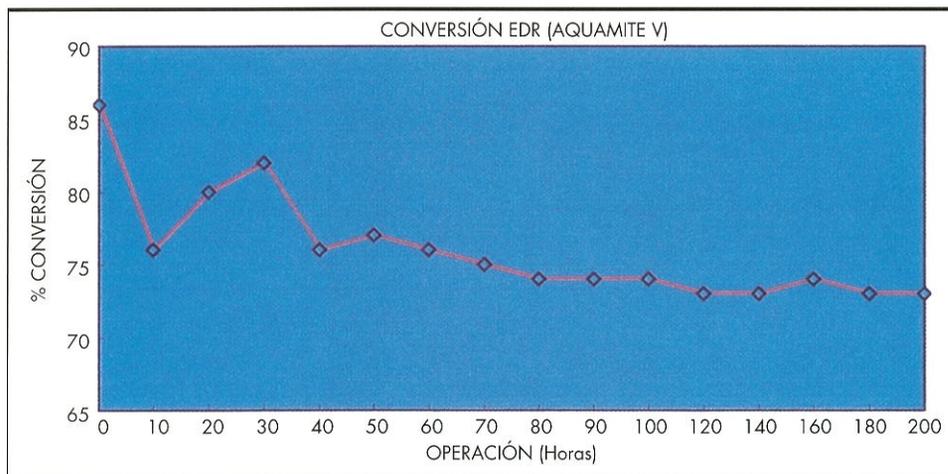


FIGURA 5. Conversión unidad de EDR.

Rechazo de sales

El rechazo de sales oscila en el rango del 60-76%, como se observa en la figura 6.

De acuerdo al gráfico (figura 6), el rechazo de sales durante las primeras 30 horas de operación es bajo debido a las fluctua-

ciones que sufre la planta hasta estabilización de la corriente, se estabiliza a partir de las 90 horas como se ve en la figura 7.

Datos de la planta de EDR operando en forma discontinua de las primeras 200 horas de operación y los consumos que realiza. El consumo eléctrico Aquamite V es de 1,9 Kw.h/m³.

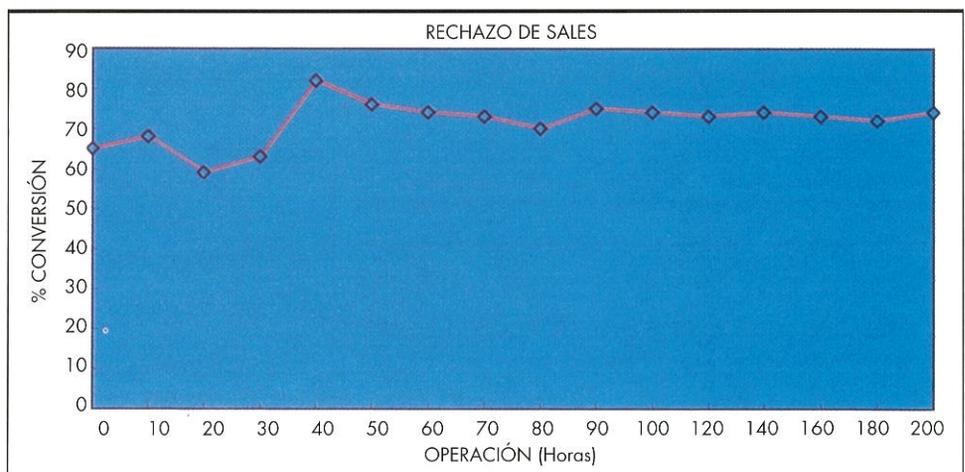


FIGURA 6. Rechazo de Sales vs Horas de operación.

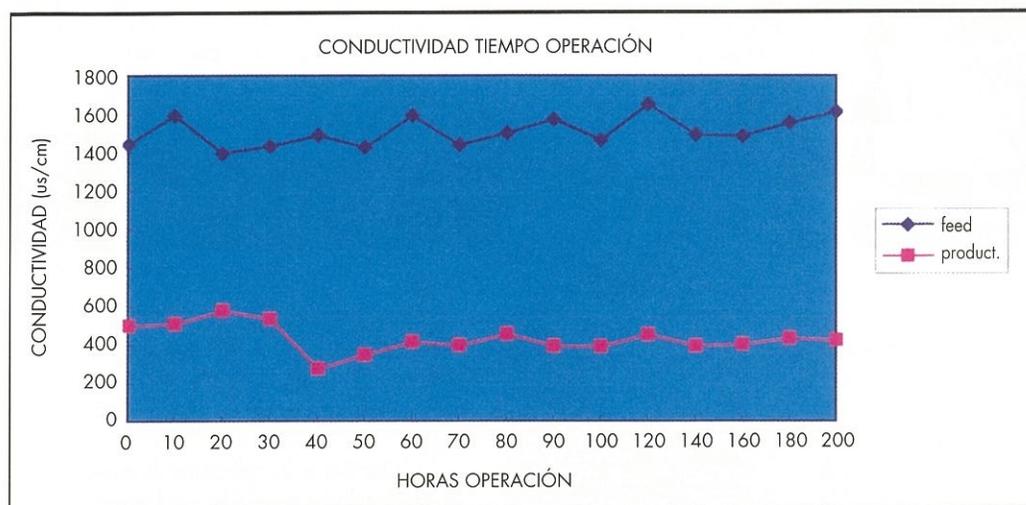


FIGURA 7. Variación de la conductividad en 200 horas de operación.

3.3. ULTRAFILTRACIÓN - ÓSMOSIS INVERSA INTERCAMBIO IÓNICO - CDI

Uno de los parámetros necesarios para la operación adecuada de los sistemas terciarios es el SDI, con valores de 4-5 unidades a la salida del Cristal "M" debido a la alta presencia de sólidos suspendidos y la variabilidad que ofrece el agua el efluente del EDAR. La unidad de ultrafiltración está equipada con SC4040/PES-UF membranas para Fluid Systems diseñada específicamente para este tipo de calidad de agua instaladas para ubicar valores de SDI bajo 1 unidad protegiendo las membranas de OI y optimizando el proceso, evitando el ensuciamiento constante.

- En este período se han evaluado ciertos parámetros fundamentales para su funcionamiento siendo considerados: Límites hidráulicos, Efecto de la capa límite, factor beta, la conversión, etc.
- La calidad del producto está limitada a la conversión, la planta ha sido ajustada para no exceder los límites de diseño.

El pretratamiento de la OI es necesario para evitar incrustaciones y ensuciamientos que deteriore las membranas o incremente la presión de operación y la presión diferencial afectando la calidad del producto.

Los resultados de los procesos de Ultrafiltración, OI, Intercambio Iónico y CDI no son representativos puesto que algunos de ellos han optado sobre las 100 horas, la posterior evaluación que ofrezca valores de 500-1000 horas de trabajo nos dará una visión real de la operación de la planta, de igual forma los efectos que tiene el agua sobre los proyectos de regadío en las plataformas y su aplicabilidad.

4. APLICACIONES INNOVADORAS

- La instalación de un sistema primario "Cristal M" para tratar los efluentes de una Estación Depuradora de Aguas Residuales, garantizando la operación de los procesos terciarios. Tiene aplicaciones inmediatas en los sistemas de reutilización de agua con cargas altas o con problemas operativos.
- El pretratamiento físico-químico con cloruro férrico y ALP, un coagulante usado como asistente de floculación con resultados óptimos.
- Se colocó una capa de carbón activo en el filtro de presión de pretratamiento para la unidad de OI. Ésta elimina el cloro residual del producto y tiene aplicaciones directas en las plantas de desalinización, evitando el uso de reactivos.
- La reconversión de una planta de desalinización con membranas para agua salobre a una planta para la reutilización de aguas. Debido a los bajos niveles de salinidad de las aguas de alimentación, es posible usar en este tipo de sistemas membranas que no serían operativas en una planta de desalinización normal, consumiendo, además, menos energía.
- La operación simultánea de procesos terciarios para la producción de 8 calidades diferentes de agua de diferentes calidades que pueden usarse en diferentes aplicaciones, usando sistemas modulares que ocupa una superficie mínima, poco personal para operar con seguridad y realizar una producción óptima, todos factores que ayudan a reducir los costes del agua producida.