

MEDICIÓN DEL FLUJO DE TRABAJO DE MEMBRANAS ON LINE Y DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN CONTENEDORES DE PRESIÓN DE OSMOSIS INVERSA CON SPLIT / MEASUREMENT OF ON-LINE MEMBRANE WORKFLOW AND PRESSURE IN REVERSE OSMOSIS PRESSURE VESSELS WITH SPLIT

Autores/Authors: Enric Palacios Doñaque (Asesor Técnico I+D+i, Acciona Agua, enrique.palacios.donaque@acciona.com), Enrique Palacios Jiménez (Dpto. I+D+i, Acciona Agua, enrique.palacios.jimenez@acciona.com), Cosmin Koch (Dpto I+D+i, ckoch@acciona.com), Pedro Javier Miranda (O&M Jefe de Producción Internacional, Acciona Agua, pedrojavier.miranda.lujan@acciona.com), Abdelmayid Cherifi (Director de Producción Planta Desalinizadora Fouka, Acciona Agua, abdelmayid.cherifi.filali@acciona.com), Marouan El Kaddouri, (Desaladora de Fouka, Acciona Agua, marouane.kaddouri@acciona.com), Javier Zapatera (Jefe de Planta Desaladora de Torrevieja, Acciona Agua, javier.zapatera.linares@acciona.com).

Resumen:

Una de las incógnitas que se presentan cuando un sistema de Ósmosis Inversa (ya sea de agua de mar o salobre) está en funcionamiento, es conocer el flujo (l/hm²) de trabajo de cada membrana en su correspondiente posición. Por regla general se toman los valores de los flujos obtenidos en las proyecciones de los fabricantes, pero no se conoce cuáles son estos valores en la realidad y sobre todo, se desconoce cómo evoluciona este flujo en función del ensuciamiento de las membranas. ACCIONA Agua ha desarrollado un dispositivo patentado llamado RODIFLO[®], con un sensor que deslizándolo dentro del tubo de permeado de las membranas permite conocer el caudal total de permeado de cada una de ellas y además en cada sección de la misma. El caudal obtenido de cada membrana, dividido por la superficie útil de la misma, nos da el flujo de trabajo en cada instante y en cada posición. Por otro lado, este sistema, permite determinar dónde está el split hidráulico que separa dos corrientes de permeado en aquellas plantas donde éste se divide en dos corrientes, que salen por la parte frontal y trasera de los tubos de presión.

Hay plantas desaladoras donde se utilizan interconectores ciegos para separar de forma muy definida los caudales de permeado de dos secciones de membranas. Esto tiene el inconveniente de que cuando se quiere normalizar un sistema de OI, no se conoce la pérdida de carga de cada sección de membranas. ACCIONA Agua, ha desarrollado un dispositivo patentado llamado INTERAP[®] que permite la determinación de la pérdida de carga de cada sección de membranas separadas por el split ciego.

Abstract:

One of the unknowns that arise when a reverse osmosis system (either seawater or brackish water) is in operation, is to know the flux (l / hm²) of each membrane in its corresponding position. As a general rule, the values of the flows obtained in the projections of the manufacturers are taken, but it is not known what these values are in reality and, above all, it is unknown how this flow evolves as a function of the fouling of the membranes. ACCIONA Agua has developed a patented device called RODIFLO[®], with a sensor that slides inside the permeate tube of the membranes to know the total permeate flow rate of each of them and also in each section of the same. The flow obtained from each membrane, divided by the useful surface of each one, gives us the workflow at every moment and in every position. On the other hand, this system allows to determine where is the hydraulic split that separates two permeate streams in those plants where it is divided into two streams, which exit from the front and back of the pressure tubes.

There are desalination plants where blind interconnectors are used to separate the permeate flow rates of two membrane sections in a very defined way. This has the disadvantage that when it is wanted to normalize an RO system, the pressure loss of each membrane section is not known. ACCIONA Agua has

developed a patented device called INTERAP® that allows the determination of the pressure loss of each section of membranes separated by the blind split.

1 INTRODUCCIÓN

Esta comunicación consta de dos partes ya que se trata de la presentación de datos de dos dispositivos diferentes: INTERAP® y RODIFLO®. Estos dos dispositivos, tienen dos funciones muy diferenciadas. El INTERAP es un dispositivo para medir la pérdida de carga de un grupo determinado de membranas instaladas en los contenedores de presión, donde estos grupos de membranas están separados por un interconector ciego. El interconector ciego, por necesidades de diseño, puede estar situado en cualquier posición, pero siendo la más corriente la posición 3-4. De esta forma, se tienen separados dos grupos de membranas: de la 1 a la 3 y de la 3 a la 7. Uno de los problemas que se presenta a la hora de normalizar los bastidores donde se ha montado interconector o split ciego es que no se conoce la pérdida de carga de cada sección de membranas. El dispositivo RODIFLO®, ha sido diseñado para efectuar medidas de los caudales individuales de permeado de cada membrana en cada posición, para poder calcular el flujo de trabajo y compararlos con los que vienen reflejados en las proyecciones de los fabricantes de membranas.

2 INTERAP®

El dispositivo INTERAP, consiste e

n un interconector ciego según se muestra en la siguiente figura.

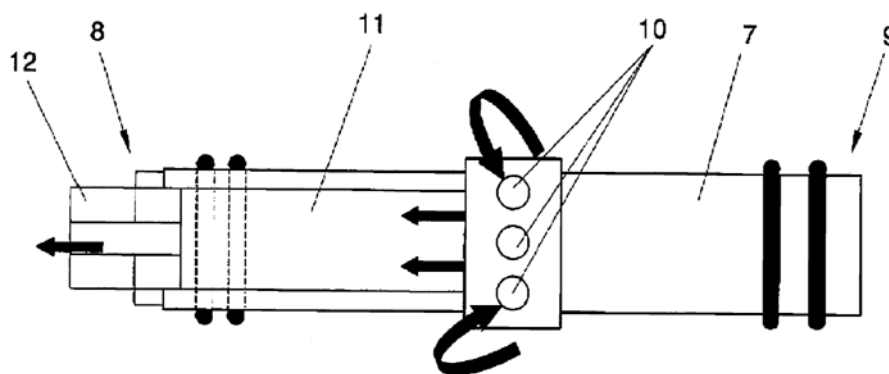


Figura 1.-Esquema del interconector ciego especial INTERAP®

La geometría del interconector INTERAP®, es similar a la de un interconector ciego, pero con la diferencia de que uno de los lados está hueco (11) y el otro lado, es sólido (7). En la zona intermedia existen unos orificios (10) que comunican el exterior con la cámara (11). En ambos extremos del interconector, están alojadas dos juntas toricas (9) para poder realizar la estanqueidad adecuada cuando el interconector se monta entre dos membranas. En el extremo de la cámara (11) se conecta un racor de presión con un tubo de acero inoxidable que pasa por el interior de las membranas hacia el exterior, a través de la tapa del contenedor de presión realizándose la estanqueidad mediante un prensa estopas. Completan el montaje los accesorios adecuados para poder realizar las medidas de presión.

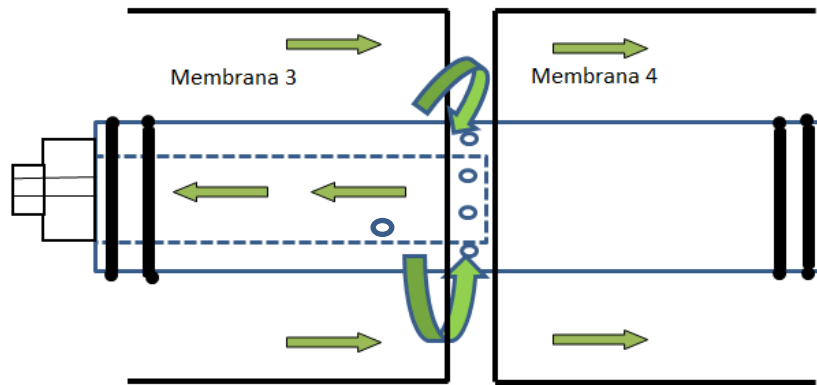


Figura 2.- Esquema del funcionamiento del interconector INTERAP®

Los orificios periféricos del interconector INTERAP®, como se ve en la Figura 2, comunican la presión del rechazo de la membrana 3 hacia el exterior. A continuación, se expone un esquema del montaje del INTERAP® en un contenedor de presión en un Rack de OI.

MONTAJE DEL DISPOSITIVO INTERAP® EN UN CONTENEDOR DE PRESIÓN DE AGUA DE MAR

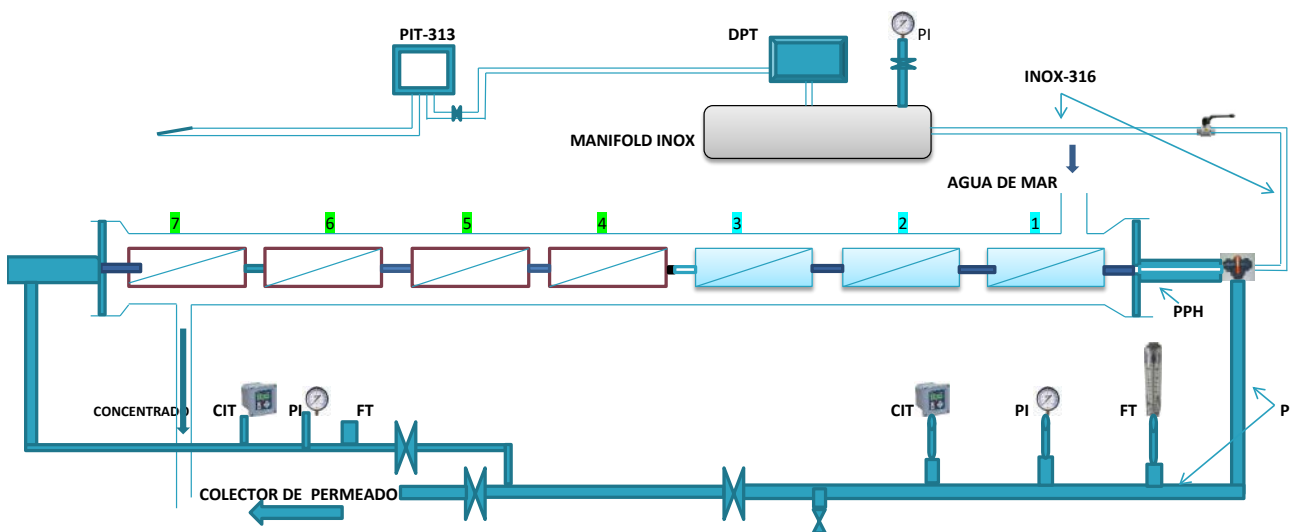


Figura 3.- Esquema del montaje del INTERAP® en un contenedor de presión

El contenedor de presión se instrumenta de manera que pueda caracterizarse todo el sistema midiendo:

- Caudales de permeado que se obtienen en ambos lados del mismo
- Conductividades de cada corriente de permeado, de alimentación y rechazo
- Presiones de alimentación y rechazo del contenedor y...
- Presión del rechazo entre las membranas donde esté montado el interconector INTERAP®.

Todos estos parámetros, son necesarios para poder realizar la Normalización del contenedor de presión. Si se montan varios dispositivos en un mismo Rack o en diferentes Racks, se puede admitir que los resultados obtenidos de la caracterización de los diferentes contenedores son extrapolables a todo un Rack de membranas.

Los datos obtenidos, pueden ser introducidos en la hoja de Normalización de los diferentes fabricantes de membranas, aunque al tener dos secciones de membranas, hay que realizar la Normalización considerando dos etapas de tratamiento. Acciona Agua, ha desarrollado una hoja de Normalización que permite diferenciar perfectamente las dos etapas de membranas y seguir la evolución de la dP en cada sección de las mismas. A continuación, se exponen las gráficas de dP obtenidas de la hoja de Normalización.

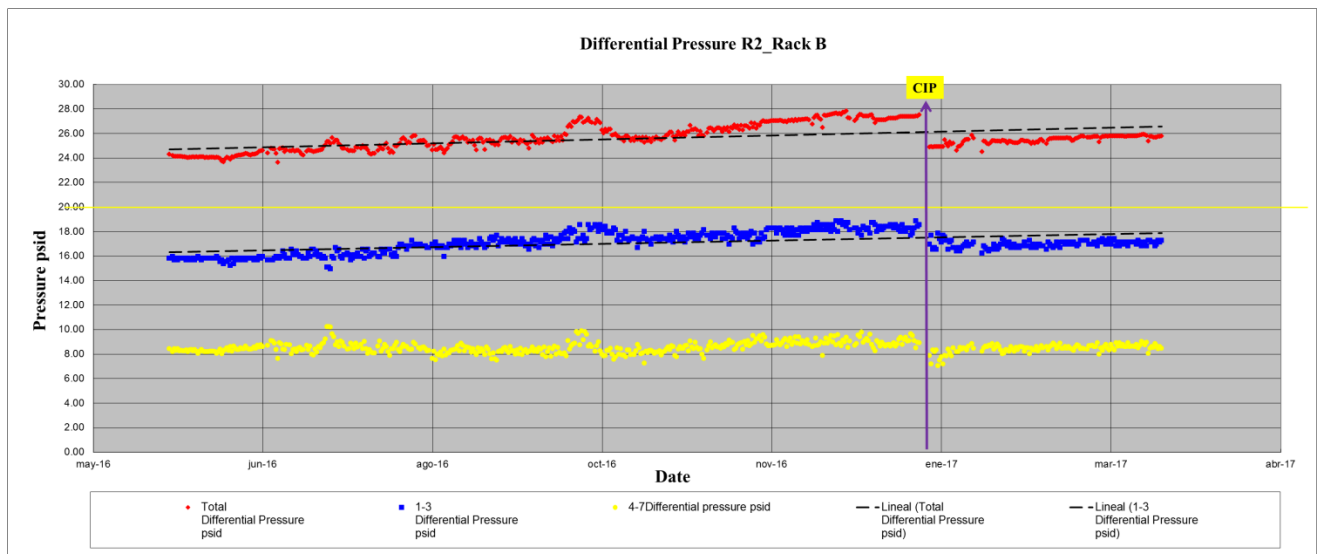


Figura 4.- Gráfica de la evolución de la dP en un tubo de presión con dos secciones de membranas separadas por el INTERAP®

Para poder realizar unos primeros cálculos, a continuación y a modo de ejemplo, se presenta la Tabla 1, que es un extracto de los valores de la dP representativos de la hoja de Normalización.

Total Differential Pressure psid	1-3 Differential Pressure psid	4-7 Differential Pressure psid
24,25	15,81	8,44
24,15	15,95	8,19
24,10	15,66	8,44
24,10	15,81	8,29
24,09	15,66	8,43
24,08	15,81	8,27
24,10	15,81	8,29
24,07	15,81	8,26
24,06	15,81	8,25
24,00	15,66	8,34
24,00	15,81	8,19
24,01	15,66	8,35
24,02	15,66	8,36
24,06	15,81	8,25
24,04	15,66	8,37
24,05	15,81	8,24
24,02	15,95	8,07
24,04	15,81	8,23
24,04	15,66	8,38
24,04	15,81	8,23
24,00	15,81	8,19
24,01	15,81	8,20
24,00	15,81	8,19
24,02	15,81	8,21

Tabla1.-Presión diferencial 1-3; 4-7

De estos valores, se deduce que la dP de las tres primeras posiciones es el 65,59% de la dP total del contenedor. Efectivamente, en la gráfica de la Figura 4, se observa, que prácticamente toda la dP del contenedor, es debido a las tres primeras membranas, que significativamente son las que se ensucian más. Obviamente, los valores registrados de la dP , dependerán de donde esté situado el interconector ciego. Un posible inconveniente que puede aparecer en el sistema es que en función de la calidad del agua de rechazo de la membrana donde está instalado el interconector, los orificios perimetrales del mismo que comunican la presión hacia el exterior se obstruyan por formación de algunas deposiciones. Para ello se ha instalado en el circuito de agua que va al medidor de presión, un conjunto de válvulas que permiten aislar el medidor de presión y desviar el agua hacia a un desagüe durante unos segundos y así limpiar la cámara (11) del interconector y toda la conducción que transmite la presión al correspondiente medidor.

3 RODIFLO®

Este dispositivo, está diseñado para realizar la medición del caudal de permeado de cada membrana instalada en un contenedor de presión. Consta de un sensor másico conectado al extremo de una funda de acero inoxidable dentro de la cual están los cables de transmisión de señales. El conjunto de sensor y funda metálica se desliza por dentro de los tubos de permeado del conjunto de membranas desde el exterior hacia el interior de las mismas. Para iniciar la medida de caudales, se introduce el sensor por ejemplo, hasta el final de la membrana de la Posición 1 y se va desplazando en función de la medida de las membranas leyendo el caudal de permeado en la posición que se desee. La señal eléctrica del sensor, es conducida a un indicador programable que indica el caudal instantáneo en cada posición donde se encuentra el sensor másico.



Figura 5.-Indicador electrónico del equipo RODIFLO



Figura 6.- Punta del sensor másico RODIFLO

Al desplazar el sensor hacia las demás posiciones, se obtiene la lectura acumulada del caudal de permeado suma de todos los caudales de permeado de todas las membranas.

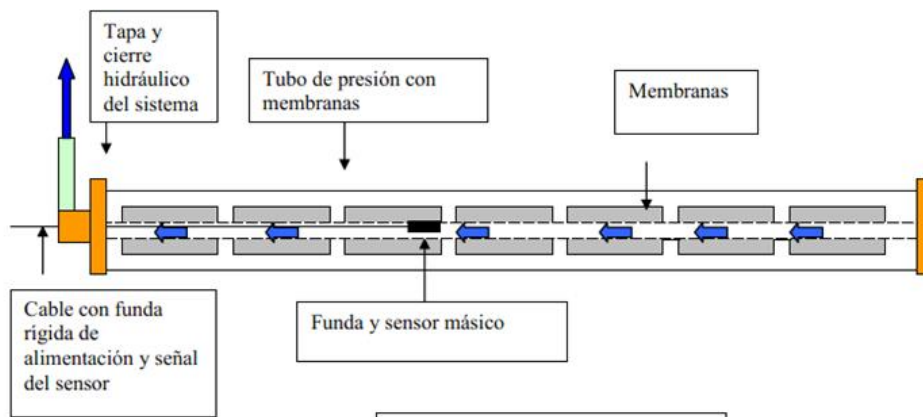


Figura 6.-Esquema de montaje del sensor másico RODIFLO®

Por tanto, el valor de los caudales obtenidos es suma de todos los caudales individuales de cada membrana, con lo que con unas simples operaciones matemáticas se puede conocer el caudal de permeado de cada una de ellas.

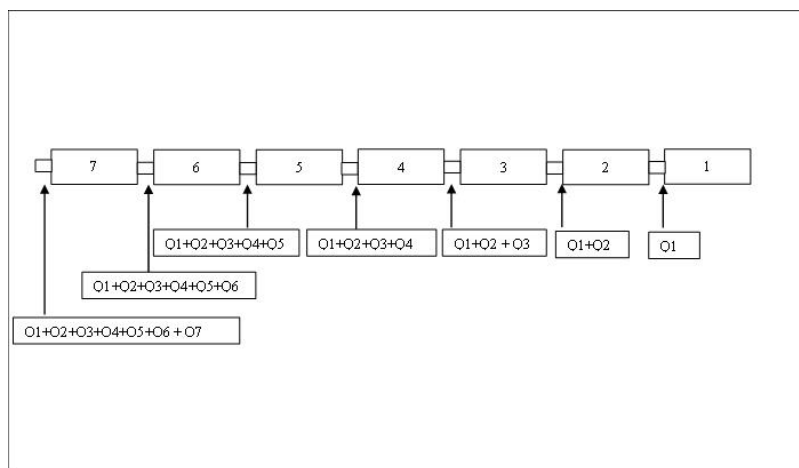


Figura 7.- Esquema de suma de caudales de permeado

Para calcular el caudal de permeado de forma individual, se plantean las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_1 \\
 Q_2 &= (Q_1+Q_2)-Q_1 \\
 Q_3 &= (Q_3+Q_2+Q_1)-(Q_2+Q_1) \\
 Q_4 &= (Q_4+Q_3+Q_2+Q_1)-((Q_3+Q_2+Q_1)) \\
 Q_5 &= (Q_5+Q_4+Q_3+Q_2+Q_1)-(Q_4+Q_3+Q_2+Q_1) \\
 Q_6 &= (Q_6+Q_5+Q_4+Q_3+Q_2+Q_1)-(Q_5+Q_4+Q_3+Q_2+Q_1) \\
 Q_7 &= ((Q_7+Q_6+Q_5+Q_4+Q_3+Q_2+Q_1)-(Q_6+Q_5+Q_4+Q_3+Q_2+Q_1)) \\
 Q_t \text{ (total)} &= Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5+Q_6+Q_7
 \end{aligned}$$

Estos valores de “Q” estarán en unidades de l/h; m³/h , según se haya configurado el indicador electrónico. Dividiendo el valor de cada caudal por el valor de la superficie “A” de cada membrana, se obtendrá el flujo de trabajo de cada una de ellas.

Flujo = Q/A que vendrá dado en las dimensiones LM⁻² T⁻¹

3.1 EJEMPLO PRÁCTICO.-MEDICIONES EN CAMPO

En un contenedor de presión de un Rack de Ósmosis Inversa se instaló un dispositivo RODIFLO®, para realizar las medidas de caudal de cada membrana, durante la puesta en marcha de la misma.

Previamente, se examinaron los datos de los caudales de permeado de las proyecciones del fabricante de las membranas para poder compararlos con los datos obtenidos con el dispositivo RODIFLO®.

Tabla de caudales y flujos de permeado según proyecciones		
Superficie de membrana		37.2 m2
Posición membrana	Caudal de permeado m3/h	Flujo de trabajo l/h m2
1	0.89	23.92
2	0.75	20.16
3	0.61	16.40
4	0.48	12.90
5	0.37	9.95
6	0.28	7.53
7	0.20	5.38

Tabla 2.- Caudales y flujos de permeado según proyecciones

A continuación se expone una tabla con los datos experimentales

DATOS CORREGIDOS A 25°C								
Posición	Caudal experimental l/h Medición 1	Cálculo experimental Flujo l/h m2 Medición 1	Caudal experimental l/h Medición 2	Cálculo experimental Flujo l/h m2 Medición 2	Caudal experimental l/h Medición 3	Flujo experimental l/h Medición 3	Caudal según fabricante l/h	Según fabricante Flujo l/h m2
1	1191,20	32,02	1174,36	31,57	1155,47	31,06	1080,64	29,04
2	949,39	25,52	951,56	25,58	966,87	25,99	910,65	24,48
3	817,57	21,98	815,66	21,93	793,97	21,34	740,66	19,91
4	643,26	17,29	631,78	16,98	625,40	16,81	582,82	15,66
5	495,75	13,33	516,93	13,90	554,45	14,90	449,26	12,08
6	375,16	10,09	333,43	8,96	490,90	13,20	339,98	9,14
7	267,97	7,20	297,45	8,00	262,87	7,07	242,84	6,53
TCF	0,784						TCF	0,824

Tabla 3.-Datos experimentales

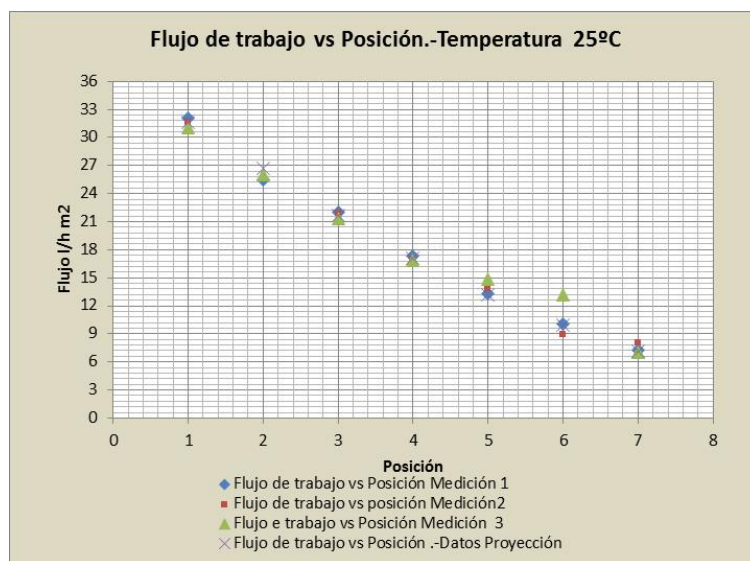


Figura 8.-Gráfica de los flujos de trabajo corregidos a 25°C

Realizando cálculos estadísticos para hallar la desviación estándar de los flujos de trabajo, se puede observar que este parámetro está dentro de los valores aceptables

	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Desviación estandar	Proyección	Promedio	% Variación
1	32,02	31,57	31,06	0,480	31,64	31,55	0,26863
2	25,52	25,58	25,99	0,256	26,66	25,70	3,61340
3	21,98	21,93	21,34	0,352	21,69	21,75	-0,27289
4	17,29	16,98	16,81	0,243	17,06	17,03	0,18713
5	13,33	13,90	14,90	0,799	13,16	14,04	-6,70990
6	10,09	8,96	9,90	0,602	9,96	9,65	3,09604
7	7,20	8,00	7,20	0,457	7,12	7,47	-4,95218

Tabla 4.-Valores estadísticos

Según los datos obtenidos en campo mediante el dispositivo RODIFLO®, existe muy poca desviación de los valores de caudal de permeado de cada membrana con respecto a los valores de las proyecciones del fabricante.

4 CONCLUSIONES

INTERAP®

Mediante este dispositivo, se puede medir perfectamente la pérdida de carga de dos bloques de membranas separadas por un interconector ciego. De esta forma, se puede normalizar la dP correctamente, sin tener que hacer estimaciones teóricas sobre los valores de este parámetro en los dos bloques de membranas.

RODIFLO®

La experimentación llevada a cabo mediante este dispositivo, ha demostrado, que se pueden obtener valores de los flujos de trabajo de cada membrana, muy cercanos a los valores de las proyecciones que da el fabricante de las membranas. Obviamente, estos valores variarán conforme se ensucien las membranas.