



Creación de una plataforma para la validación de sensores *on line* para el control de la calidad del agua

Aigües de Barcelona y Cetaqua han diseñado y construido una plataforma para la validación de equipos de control en continuo de la calidad del agua (sensores *on line*). Esta nueva infraestructura permite la validación y comparación simultánea de hasta 8 equipos en distintas configuraciones. Además, puede ser alimentada por 2 tipologías de agua potable con calidades muy distintas, incluyendo la opción de doparlas con compuestos específicos para simular eventos o trabajar en condiciones controladas. La plataforma está ubicada junto al laboratorio de Aigües de Barcelona para facilitar la realización de las analíticas de contraste acreditadas. Dispone de la posibilidad de conexión remota a todos los sensores mediante un datalogger y tiene varios modos de trabajo.

Palabras clave

Plataforma, sensores, *on line*, agua potable, validación.

PLATFORM FOR THE VALIDATION OF ONLINE SENSOR IN DRINKING WATER

Aigües de Barcelona and Cetaqua built a platform to validate water quality on-line sensors. This new infrastructure allows validation and comparison of up to 8 devices simultaneously and in different configurations. Furthermore, it's reached by 2 types of drinking water with very different qualities, including the option of doping with specific compounds to simulate events or work in controlled conditions. It is located next to the water quality control laboratory of Aigües de Barcelona in order to facilitate the accredited analytical laboratory verifications. It has the possibility of remote connection to all sensors via a datalogger and have several working modes.

Keywords

Platform, online, sensors, drinking water, validation.

Miquel Paraira Faus

director de la Calidad del Agua de Aigües de Barcelona y SOREA

Jordi Martín Alonso

Responsable de Gestión de Calidad del Agua de Aigües de Barcelona

Susana González Blanco

Responsable del área de Calidad de Cetaqua

Clàudia Puigdomènech Serra

project manager de Cetaqua



1. INTRODUCCIÓN: AGUAS DE BARCELONA Y LA CALIDAD DEL AGUA

La red de transporte y distribución de Aigües de Barcelona es compleja, siendo abastecida por orígenes de agua bien distintos, con calidades de agua muy diferentes. El control de la calidad del agua de consumo se realiza desde hace más de 100 años en el laboratorio de la compañía. Además, Aigües de Barcelona controla dicha red con más de 100 sensores *on line*, garantizando la inocuidad del agua mediante la aplicación de los mismos principios de gestión preventiva del riesgo que se utilizan en la industria alimentaria (certificación ISO 22000) y siguiendo las últimas recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (Planes Sanitarios del Agua).

En este contexto, resulta de vital importancia poder garantizar la bondad de los sensores empleados en el control de la calidad del agua. De aquí surge la necesidad de disponer de una infraestructura para llevar a cabo validaciones exhaustivas de los diferentes sensores *on line*, simulando las condiciones reales y variantes de la red de distribución y transporte.

2. PLATAFORMA PARA LA VALIDACIÓN DE SENSORES

La Plataforma de Validación de Sensores fue diseñada y construida por Aigües de Barcelona y Cetaqua en el año 2014 para dar respuesta a esta

FIGURA 1. Sistema Ter-Llobregat y sus principales contribuciones en la distribución de agua potable en Barcelona. Fuente: Aguas de Barcelona.



necesidad, creándose un banco de pruebas robusto y versátil que permite la realización de validaciones de sensores para el control de la calidad del agua, antes de decidir su posible incorporación en la red de transporte y distribución como analizadores de rutina. También permite la validación de aquellos prototipos o analizadores avanzados para poder determinar el potencial de los mismos para proteger la red de abastecimiento en términos de calidad, seguridad, etc.

Juntamente con la Plataforma de Sensores se han definido unos criterios y metodología de validación fácilmente extensible en otras tipologías de aguas de proceso, dónde se requiera instalar los sensores *in situ*.

En los apartados siguientes se describen las principales características de la citada plataforma.

2.1. UBICACIÓN

La plataforma fue instalada en el edificio de Aigües de Barcelona (Collblanc) por ser este un punto estratégico para la validación de sensores con agua de red, debido a dos motivos principales:

- El edificio de Collblanc alberga el laboratorio de Aigües de Barcelona, donde se lleva a cabo el control de calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas de distribución, proceso y residuales del área metropolitana de Barcelona. La proximidad de la plataforma a este centro permite tomar y analizar mediante metodologías acreditadas por la norma ISO 17025 contramuestras de forma casi inmediata, evitando problemas durante el transporte de las mismas.

- Como se puede observar en la **Figura 1**, Barcelona tiene una red de distribución compleja que se alimenta principalmente del agua procedente de dos ríos, el Ter (norte) y el Llobregat (sur). El edificio de Aigües de Barcelona está ubicado en un punto que se puede abastecer de los dos tipos de agua, o incluso de mezclas de las mismas de forma espontánea y, por tanto, permite reproducir los cambios naturales de la

TABLA 1

COMPARATIVA DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS ENTRE AGUA POTABLE DE ORIGEN TER Y AGUA POTABLE DE ORIGEN LLOBREGAT

Parámetro	Unidades	Agua potable origen Ter	Agua potable origen Llobregat
pH	Unidades de pH	7,8	7,2
Conductividad (20 °C)	µS/cm	400	1.500
Carbón orgánico total (COT)	mg C/l	3	1

red de distribución que se producen en Barcelona.

En la **Tabla 1** se muestran las principales diferencias a nivel de calidad entre el agua potable de origen Ter y de origen Llobregat.

Además, como muestra la **Figura 2**, en la plataforma se puede forzar un cambio de origen si se requiere para la validación.

Por lo tanto, la plataforma puede estar alimentada con las siguientes calidades de agua:

- 100% agua del río Ter, proveniente de la ETAP Cardedeu.
- 100% agua del río Llobregat, tratada en la ETAP Sant Joan Despí, que puede tener origen superficial o subterráneo y diferente tratamiento (línea de ultrafiltración seguida de una ósmosis inversa con su posterior remineralización y línea de ozonización seguida de una filtración GAC).
- Mezclas de las anteriores.

En la **Tabla 2** se muestran los valores mínimos, máximos y medios de los parámetros fisicoquímicos del agua que alimenta la Plataforma de Validación de Sensores, donde se puede observar la variabilidad de calidad que ésta puede tener.

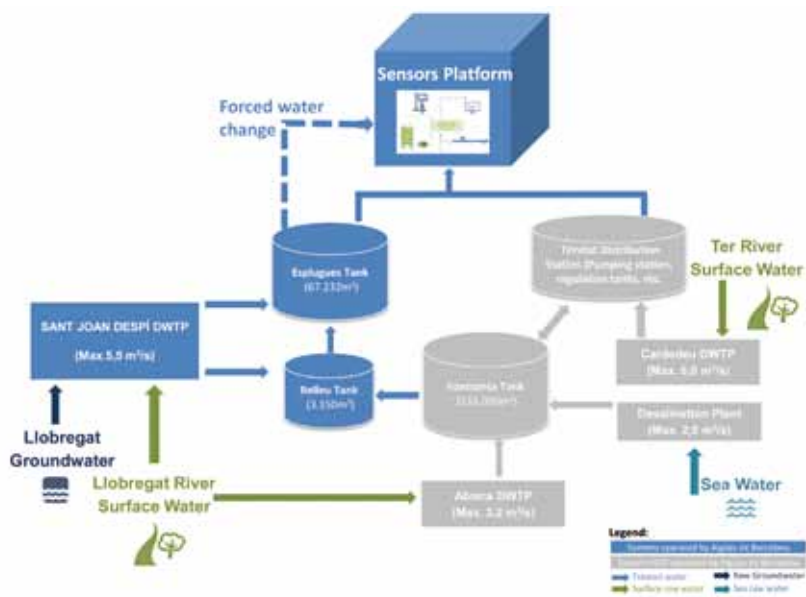
2.2. CIRCUITO HIDRÁULICO

El circuito hidráulico está compuesto por una serie de tuberías de acero inoxidable de diámetro DN 20, diferentes válvulas estranguladoras, indicadores manuales de presión, indicadores de flujo, diferentes puntos para tomar muestra, un contador, espacio para la instalación de equipos, etc.

Este circuito permite trabajar en tres modos de operación distintos:

- Circuito abierto (*open mode*). Permite trabajar en condiciones rea-

FIGURA 2. Diagrama hidráulico de la alimentación de la plataforma de sensores. Fuente: Cetaqua.



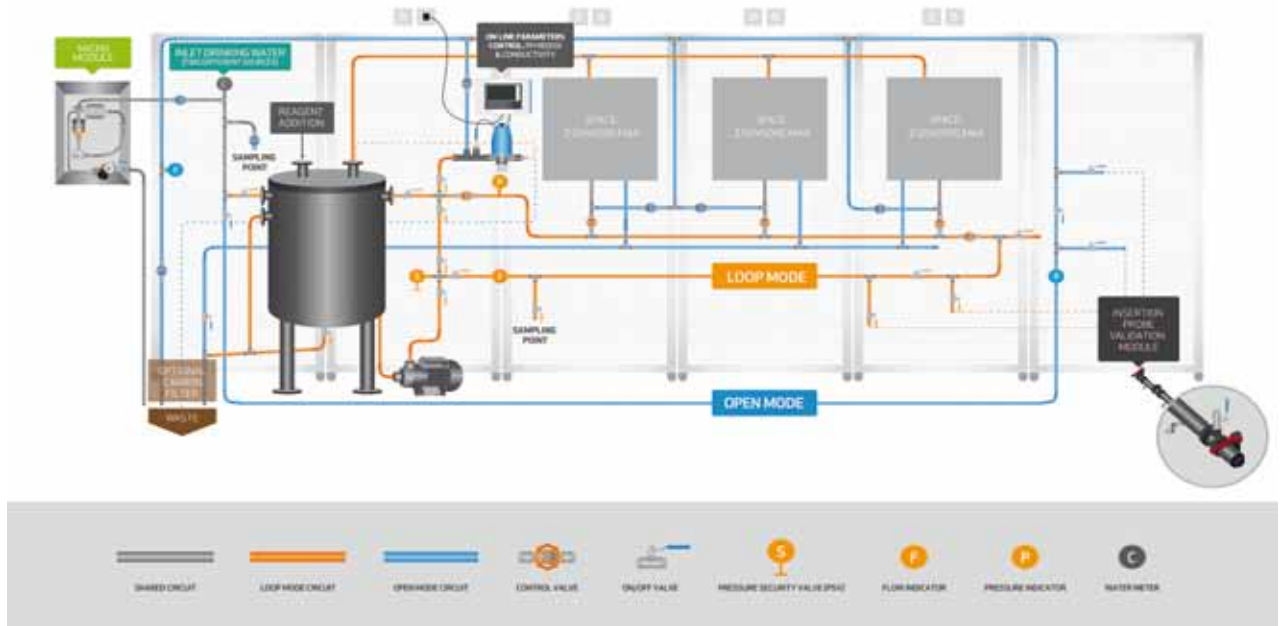
les y variables, alimentando a los sensores con el agua de red. El agua de red entra en el circuito, pasa por los sensores a validar y se descarta por el desagüe. Esta configuración permite realizar pruebas *on line*, donde se evalúa la respuesta de los sensores frente a los cambios naturales de la red de distribución y el tiempo que éstos pueden funcionar correctamente sin requerir calibraciones o acciones de mantenimiento.

- Circuito cerrado (*loop mode*). Permite trabajar en condiciones controladas, regulando la temperatura y algunos parámetros fisicoquímicos del depósito. Además, permite la simulación de eventos concretos (dopaje puntual en el depósito) o eventos progresivos (dopaje a caudal constante simulando rampas o escalones). Para ello cuenta con un depósito donde el agua se puede almacenar y dopar con analitos de

Parámetro	Unidades	Plataforma de sensores (valores del 2015)		
		Mínimo	Promedio	Máximo
pH	Unidades de pH	7,3	7,5	7,8
Conductividad (20 °C)	µS/cm	373	887	1.350
Temperatura	°C	9	19,4	27,2
Carbón orgánico total (COT)	mg C/l	1	1,9	3,10
Color	mg Pt/l	<5	<5	<5
Turbidez	UNF	<0,2	<0,2	0,6
Cloro libre	mg Cl ₂ /L	0,23	0,63	0,9



FIGURA 3. Diagrama del circuito hidráulico de la Plataforma de Validación de Sensores. Fuente: Cetaqua.



forma controlada para luego recircularla por los sensores con la ayuda de una bomba volumétrica. Las pruebas realizadas en circuito cerrado también permiten trabajar de forma *on line*, pero en este caso controlando el valor exacto de los parámetros a analizar (concentración de cloro, conductividad, etc.) y, por tanto, pudiendo analizar con más detalle los datos para determinar el tiempo de respuesta frente a cambios bruscos o progresivos. La adición de los compuestos se puede hacer de forma manual o mediante bombas dosificadoras.

- Circuito mixto. Permite trabajar en condiciones reales (circuito abierto) y pasar de forma rápida, con un simple cambio de válvulas, a circuito cerrado con el depósito dopado con algún reactivo. Este modo permite la simulación de picos y eventos, validando la respuesta de los sensores frente a los mismos.

El circuito hidráulico incluye 3 módulos de validación y es suficientemente versátil para que puedan

trabajar en paralelo o independientemente (en modo abierto y modo cerrado). En cada módulo se pueden instalar hasta 2 sensores en *bypass* (un total de 6 analizadores), siempre y cuando el caudal de entrada a la plataforma sea suficiente para alimentarlos. Además, el circuito tiene integrado un módulo para la validación de sondas de inserción (*in line*) que consiste en un tubo modulable de PVC que se puede acoplar tanto al circuito abierto como al cerrado.

Está preparado para la incorporación de filtros de carbón, ya sea en la entrada del circuito para la eliminación de compuestos como el cloro, como antes del desagüe para eliminar ciertos reactivos antes de verterlos.

En la **Figura 3** se muestran de forma esquemática los distintos elementos del circuito hidráulico.

2.3. EQUIPAMIENTO DE LA PLATAFORMA

Para realizar las pruebas de validación, la plataforma dispone de los siguientes componentes:

- Espacio para sensores. Como se puede ver en la **Figura 4**, los 3 módulos de validación incluyen espacio físico para poder instalar hasta 6 analizadores en vertical en la rejilla metálica o en bancadas en el suelo, en función de la dimensión de los equipos.

- Sensores fijos. Puesto que los sensores a validar no estarán de forma permanente en la plataforma, la plataforma consta de una estación sensórica que permite conocer en todo momento la calidad y origen del agua que se está analizando. Los parámetros registrados son conductividad, pH, potencial redox y temperatura y se transmiten directamente al *data logger* ubicado el mismo lugar.

- Depósito con control de temperatura. El depósito tiene una capacidad de 400 L y está pensado para albergar agua de red, aunque se podría llegar a utilizar otros tipos de agua. Cuenta con una purga, un rebosadero, salida para la toma de muestra, una sonda de temperatura y las entradas y salidas necesarias

FIGURA 4. Espacio físico para la validación de sensores.
Fuente: Cetaqua.



FIGURA 5. Depósito de 400 L y enfriadora para el control de temperatura.
Fuente: Cetaqua.



para el circuito cerrado y la adición de compuestos. Tiene un serpentín refrigerado por una enfriadora y una resistencia para variar la temperatura del agua en circuito cerrado. En caso que se quiera homogeneizar el agua al añadir compuestos, el circuito permite recircular el agua en el depósito mediante la manipulación manual de válvulas. También permite recircular productos de limpieza por el circuito cerrado. En la **Figura 5** se muestra el depósito con la enfriadora.

- Dosificadoras. Para llevar a cabo la adición de compuestos se dispone de tres bombas dosificadoras. Con ellas se puede dopar el agua de forma progresiva para simular pendientes de concentración en circuito

cerrado o bien se puede inyectar directamente en la tubería para simulación de picos espontáneos.

- *Datalogger*. Los sensores fijos están conectados de forma permanente a un datalogger de altas prestaciones que registra los datos y los envía de forma remota. Muchos sensores a validar ya contienen una interfaz con módem, pero en cualquier caso se pueden conectar al datalogger de la plataforma mediante conexión 4-20 mA y recibir todos los datos en remoto de forma conjunta. En la **Figura 6** se puede observar la visualización de los parámetros a través del *datalogger*.

- Puntos de muestreo. A lo largo del circuito hidráulico se dispone de

salidas para tomar muestra: en la entrada, en el depósito para controlar los parámetros a variar, en el tramo de circuito cerrado y al final del circuito abierto.

- Analizadores *in situ* (*pockets*). Como se puede observar en la **Figura 7**, las muestras de contraste se pueden analizar en la misma plataforma con analizadores *in situ*.

- Módulo de microbiología. Se cuenta además con una salida para un módulo microbiológico (sistema de filtración), para poder realizar muestreos de diferentes parámetros microbiológicos.

- Espacio para filtros de carbón. La plataforma dispone de un espacio fácilmente modulable para posibles

FIGURA 6. *Datalogger*. Fuente: Cetaqua.



FIGURA 7. Analizador *in situ* de cloro libre y cloro total.
Fuente: Cetaqua.





tratamientos del rechazo de las pruebas en función de las necesidades. Por ejemplo, si las pruebas de validación requieren dopar el agua con un compuesto a altas concentraciones, el circuito hidráulico está diseñado para poder conectar filtros de carbón o algún tipo de resina en el tramo final del circuito para poder eliminar estos compuestos antes de verter el agua. De la misma forma, en el caso de dopar con microorganismos se puede incluir una adición de cloro o incluso un módulo UV para su eliminación antes de verter el agua.

3. EJEMPLO DE VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN DE SENSORES DE CLORO

3.1. CONTEXTO Y ANTECEDENTES

Como es bien sabido, las aguas de consumo deben tener presencia desinfectante residual en los niveles exigidos por el RD 140/2003 y por los correspondientes planes de vigilancia autonómicos.

Es por ello que, en los abastecimientos que utilizan la cloración como método de desinfección, la medida de cloro libre en continuo se hace imprescindible, tanto para poder controlar las dosificaciones de cloro, como para monitorizar los niveles a lo largo de toda la red y evitar incidencias tales como consumos inusuales de cloro (debidos a presencia de biofilms, materia orgánica, etc.) o concentraciones excesivas debidas a problemas con la dosificación. La gestión preventiva inherente a la certificación ISO 22000 ha llevado a Aigües de Barcelona a aumentar de manera importante la presencia de sensores de cloro *on line* en la red de abastecimiento.

Actualmente se dispone de 35 analizadores instalados en la red de transporte (ubicados en los tanques

FIGURA 8. Plataforma de Sensores con los sensores de cloro a validar instalados.
Fuente: Cetaqua.



principales) y de 130 analizadores en la red de distribución. Ante la gran oferta de equipos de este tipo disponibles en el mercado y debido a la importancia de la fiabilidad de las medidas obtenidas, especialmente en un ámbito de certificación ISO 22000, la compañía se vio en la necesidad de llevar a cabo pruebas comparativas de los diferentes sensores de cloro libre disponibles. Para ello se utilizó la Plataforma de Sensores, evaluándose la calidad de los datos proporcionados por los diferentes equipos, así como la robustez de los mismos, prestándose especial importancia a la respuesta ante cambios de matriz de agua.

3.2. PRUEBAS REALIZADAS

A tal efecto, para el proyecto se seleccionaron e instalaron 4 equipos comerciales que se instalaron en paralelo en la plataforma y que fueron sometidos a exhaustivas pruebas de validación. En la **Figura 8** se puede observar la disposición de los equipos en la plataforma.

Las pruebas llevadas a cabo fueron las siguientes:

- Variación de pH:
 - Aumento y disminución de pH tipo rampa progresiva y tipo escalón para evaluar el comportamiento de los equipos ante variaciones forzadas de pH (adición de ácido clorhídrico y sosa cáustica en el tanque) con concentración de cloro alta, media y baja.
- Variación de cloro:
 - Aumento y disminución del cloro, tipo rampa progresiva, tipo escalón y tipo pulso (simulación de picos) para la evaluación del comportamiento de los equipos ante variaciones forzadas de la concentración de cloro libre (añadido en forma de hipoclorito sódico) con agua estable de origen Ter, origen Llobregat, origen desalinizadora.
- Variación de la temperatura:
 - Aumento y disminución de la temperatura, tipo rampa progresiva y tipo escalón, para la evaluación de la respuesta de los sensores frente a variaciones forzadas de temperatura

FIGURA 9. Prueba de validación de los sensores de cloro: variación de la concentración de cloro. Fuente: Cetaqua.

- (mediante una resistencia) con un nivel de cloro medio, y con distintos orígenes agua (origen Ter, Llobregat y desalinizadora).
- Cambios de matriz de agua:
 - Cambio de agua origen Llobregat a desalinizadora: evaluación de la respuesta de los sensores frente a un cambio de matriz de agua de forma repentina entre agua de origen Llobregat (pH de 7,2 y conductividad de 1.100 uS/l) a origen desalinizadora (pH de 8,2 y conductividad de 300 uS/cm).
 - Cambio de agua origen Ter a agua origen Llobregat: evaluación de la respuesta de los sensores frente a un cambio de matriz de agua de forma repentina entre agua de origen Llobregat (pH de 7,2) a origen Ter (pH de 7,8 y conductividad de 400 uS/cm).
 - Cambios naturales/espontáneos en circuito abierto para la evaluación del comportamiento de los equipos ante los cambios naturales de agua con el flujo controlado.
 - Pruebas transversales:
 - Cortes del flujo de agua para poder evaluar a los sensores frente a cortes del flujo de

agua y estancamiento de los sensores en la red.

- Cortes del suministro eléctrica para poder evaluar la respuesta de los sensores frente a cortes de la alimentación eléctrica de los mismos.

En las **Figuras 9** y **10** se muestran dos ejemplos de evaluación de las pruebas de validación llevadas a cabo. La **Figura 9** muestra una variación de la concentración de cloro progresiva, estabilización en concentraciones altas de cloro y dosificaciones en escalón en una matriz de agua constante.

En la **Figura 10** se puede observar una variación controlada de origen de agua cambiando de agua origen Ter a agua origen Llobregat. El valor de la conductividad nos proporciona la información para poder saber el agua que está entrando en todo momento.

Además, se realizó una evaluación del comportamiento de los sensores de pH, conductividad y temperatura de los equipos ensayados durante todas las pruebas explicadas anteriormente, así como un estudio de la facilidad de uso, operatividad y necesidades de mantenimiento de los analizadores.

Todas las contramuestras efectuadas durante los ensayos se llevaron a cabo con el test colorimétrico portátil para la medida de cloro libre de Hach (Pocket Colorimeter II Test kit), método acreditado por Aigües de Barcelona.

3.3. RESULTADOS

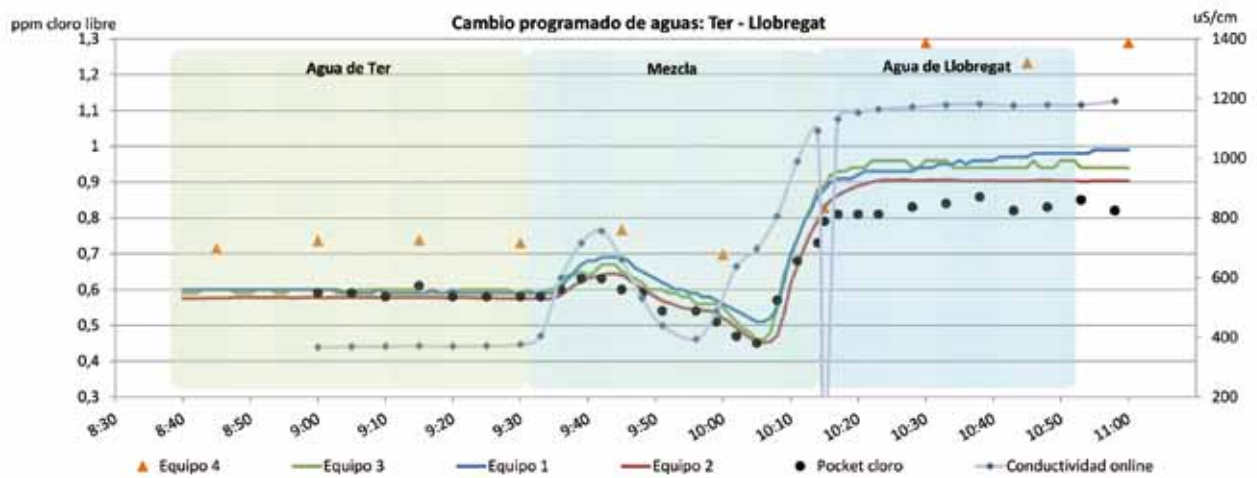
La validación llevada a cabo ha permitido conocer el comportamiento de cada equipo en diferentes condiciones, como por ejemplo cambios de matriz de agua, y seleccionar los más adecuados para ser instalados en la red en función de las condiciones y características de cada ubicación. También ha permitido fijar prioridades para la renovación de equipos actualmente en uso.

4. CONCLUSIONES

La realización de medidas en continuo para el control de la calidad del agua de consumo humano es cada vez más habitual en los abastecimientos, siendo prácticamente una necesidad en el actual contexto de implementación de Planes de Seguridad del Agua. Además, la gran oferta actual de sensores *on line* disponibles en el mercado hace necesario poder evaluar su fiabilidad y robustez, especialmente en abastecimien-



FIGURA 10. Prueba de validación de los sensores de cloro: cambio de matriz de aguas. Fuente: Cetaqua.




tos con tipologías de agua diversas y con variabilidad en su calidad.

Para dar respuesta a estas necesidades, la Plataforma de Validación de Sensores diseñada y construida por Aigües de Barcelona y Cetaqua permite llevar a cabo pruebas exhaustivas en diferentes condiciones para seleccionar los equipos más convenientes, tanto desde el punto de vista de calidad de las medidas como desde el punto de vista de fa-

cilidad de uso, necesidades y costes de mantenimiento, etc.

Además, se trata de una infraestructura viva donde continuamente Aigües de Barcelona juntamente con Cetaqua, ensayan nuevos equipos *on line*, tanto comerciales de rutina, comerciales avanzados con gran potencial para la determinación de nuevos conceptos en el ámbito de protección de la calidad de las aguas, así como prototipos en fase

de investigación.

Todo este escenario permite incorporar los mejores analizadores a la operación del abastecimiento, así como conocer de primera mano las últimas tecnologías innovadoras en el ámbito de protección, con el objetivo final de mejorar la vigilancia de la calidad de las aguas y, por tanto, de garantizar ante los ciudadanos la máxima seguridad inherente al consumo del agua. 

Consulte otros artículos en
www.tecnoaqua.es