



EMACSA se adelanta a las nuevas exigencias de control del agua

Nuevo RD de aguas de consumo en España y control operacional: control operativo aplicado en las ETAP de EMACSA en Córdoba



Rafael Marín Galvín, M^a del Mar González Jiménez y Luis Alonso Pérez de Siles.
Control de Calidad.

EMACSA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUAS DE CÓRDOBA S.A

A través del “control operacional” contemplado en el Plan Sanitario del Agua de EMACSA, la entidad trata de obtener una visión rápida del resultado operativo práctico obtenido en las ETAP, identificando con inmediatez los problemas relacionados con la calidad del agua

en su proceso productivo para la rápida aplicación de medidas correctivas previamente planificadas al efecto.

Éste se aplica en dos niveles: (a) control de laboratorio y (b) control on-line mediante sondas en continuo y se determinan 40 parámetros en el agua producida en los procesos unitarios de

la planta (preoxidación, decantación, filtración, desinfección final con cloraminas), considerados “clave” para la obtención de un producto final óptimo.

El núcleo urbano de Córdoba capital y las barriadas limítrofes ubicadas en la vega del Guadalquivir dentro del término municipal (≈322.000 h), se

abastecen del agua tratada en la ETAP de Villa Azul, cuya captación de agua bruta proviene del Embalse del Guadalmellato (146 hm³).

La ETAP de Villa Azul también tiene la opción, ante períodos de lámina excepcionalmente baja en este embalse, de proceder al aprovechamiento de agua de otras fuentes alternativas de captación: el propio río Guadalquivir y el embalse de San Rafael de Navallana (de 156 hm³ de capacidad).

Con relación a la ETAP de Guadalupe abastece a la Barriada de Cerro Muriano y a la Base Militar instalada en la zona (≈5.000 h). El abastecimiento emplea como fuente de captación habitual el embalse de Guadalupe, con una capacidad máxima de 1,6 hm³, estando ubicada a pie de presa la ETAP disponible (8.640 m³/d de capacidad de producción).

ETAP DE VILLA AZUL

El proceso global de tratamiento en esta ETAP consiste en varias etapas que serán necesarias o no en función de las características del agua bruta recibida. Pasamos a reseñarlas a continuación.

Etapas 1. Pre-oxidación-Adsorción sobre CAP

El agua bruta que llega a la ETAP pasa por un depósito donde se puede adicionar permanganato potásico, dióxido de cloro y/o carbón activo en polvo (CAP) si la calidad del agua bruta así lo requiriese. El CAP es útil ante la aparición de plaguicidas y orgánicos de síntesis.

Etapas 2. Oxidación-Aireación-Ozonización. Ajuste de pH-Precloración

Posteriormente, el agua puede ser sometida a aireación y/u ozonización, adicionándose estos reactivos en una

cámara cerrada, integrada por tres unidades interconectadas por rebose, con unos difusores porosos para burbujear los gases desde el fondo. La primera de estas cámaras se usa para inyección de aire, reservándose las otras dos para la dosificación de aire ozonizado. Para la producción de éste aire ozonizado (≈4% O₃/Nm³) se dispone de dos ozonizadores alimentados por aire ambiente tras ser secado y purificado previamente.

En la cámara de aireación se puede inyectar también permanganato potásico. En todo caso, en esta fase de la ETAP se logra la eliminación de olores y sabores del agua bruta, así como una parcial oxidación de elementos indeseables como Fe, Mn, amonio e incluso materias orgánicas.

Tras la aireación-ozonización se puede adicionar NaOH para incrementar el valor de pH del agua lo que ayudará a la correcta eliminación de compuestos de Fe y Mn, previamente

oxidados en los procesos de pre-oxidación ya reseñados antes.

Al agua procedente de la pre-oxidación y aireación-ozonización se le puede dosificar cloro y/o dióxido de cloro, en función de lo drástico de la oxidación/desinfección que se necesite aplicar. Para la dosificación de cloro se dispone de dos cloradores que operan con cloro líquido que es sometido a un proceso de evaporación previa. En cuanto al ClO₂ se prepara "in situ" por reacción entre agua fuertemente clorada (>0,5 g/L de cloro) y una disolución de NaClO₂ operando a pH<4,00.

Etapas 3. Coagulación-floculación. Decantación

El agua de los procesos anteriores se distribuye a las cuatro unidades de decantación con que se cuenta en la ETAP: se trata de decantadores Pulsator Lamelares de lecho de fangos de 1.875 m³/h a los que se dosifica coagulante (poli-

LA NUEVA DIRECTIVA (UE) 2020/1984 SOBRE AGUAS DESTINADAS AL CONSUMO HUMANO, ASÍ COMO EL NUEVO REAL DECRETO RECIENTEMENTE APROBADO (RD 3/2023) EN NUESTRO PAÍS, ESTABLECEN EL DENOMINADO "*CONTROL OPERACIONAL*" APLICABLE A INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE. ESTE ARTÍCULO PRESENTA EL CONTROL OPERATIVO APLICADO EN LAS ETAP DE EMACSA (CÓRDOBA), VILLA AZUL Y GUADALUPE, QUE DESDE HACE 40 AÑOS GARANTIZAN QUE EL AGUA DE SALIDA DE LAS ETAP SEA SALUBRE Y LIMPIA LAS 24 HORAS AL DÍA.



cloruro de aluminio) y ocasionalmente, polielectrolito (ayudante de floculación) para actuar sobre la turbidez, color Fe y Mn presentes en el agua.

Los decantadores Pulsator Lamelares reciben agua y reactivos desde su fondo, a través de tubos perforados que la reparten homogéneamente, disponiendo de una torre central en la que entra el agua bruta para que después de un determinado tiempo sufra un golpe neumático de aire que provoca su reparto: esto es lo que se llama “pulsación” y justifica el nombre aplicado a estos decantadores. El agua decantada se recoge por canalillos desde la superficie

Etapas 4. Filtración

El agua decantada pasa a 30 filtros con arena silíce de una determinada granulometría desde la parte superior, mediante compuerta o batiente, atravesando después el lecho por gravedad para recogerse por un sistema de boquillas colectoras sito en un falso fondo.

Etapas 5. Acondicionamiento final

El agua filtrada pasa a dos cámaras anteriores a los depósitos finales que tienen como misión la de recibir

el aporte de cloraminas (cloro+amoniaco), o bien de Cl_2 o ClO_2 a fin de asegurar el mantenimiento de niveles residuales de desinfectante en la red del abastecimiento.

Otra corrección aplicada al agua antes de su entrada en depósitos consiste en, si fuese necesario, ajustar su pH a valores próximos a la neutralidad (7,0-7,5 u. pH).

Etapas 6. Depósitos Agua Tratada

Son 4 unidades operativas dos a dos para almacenar toda el agua producida en la ETAP. Existe un conjunto de dos depósitos independientes físicamente, divididos en dos unidades de 55.000 m³ interconectadas tanto en entrada de agua como en salida, así como de un segundo conjunto integrado por otras dos unidades más recientes de 60.000 m³. Desde aquí el agua va a la red.

SISTEMAS DE MEDICIÓN OPERATIVOS EN LA ETAP

Todos los procesos descritos anteriormente, implican la actuación coordinada de un gran número de equipos eléctricos, neumáticos e informáticos que deben estar correctamente con-



juntados. A continuación se muestran los disponibles:

- Medición de caudal de agua bruta de entrada a la ETAP.
- Medida en continuo del pH del agua bruta mediante sonda iométrica.
- Medidas en continuo del cloro residual y turbidez del agua bruta mediante electrodo.
- Medida del caudal de agua filtrada a través de cuatro caudalímetros electromagnéticos.



- Medidas en continuo de pH, cloro y turbidez en agua de arquetas de entrada a depósitos.
- Medición del caudal de purgas de decantadores Pulsator, mediante canal Parshall.
- Medidas de caudal de agua de lavado de filtros en Central I y II (placa orificio).
- Detectores de nivel de fangos en los Pulsator con sondas de infrarrojos.
- Medidas en continuo de pérdida de carga en los filtros.

Un eficaz control operativo en una ETAP debe identificar los puntos críticos del tratamiento, así como los parámetros definitorios, para conseguir la máxima eficacia de los procesos unitarios aplicados

- Medida del nivel de agua en depósitos de salida de la ETAP hacia distribución.
- Medición de presión de Aire de Servicios Auxiliares.
- Medida de caudal de coagulante a decantadores.
- Medida del pH de los reactores de producción de dióxido de cloro.
- Medida del nivel de cal en los silos de almacenamiento.

CONTROL OPERATIVO APLICADO EN LA ETAP DE VILLA AZUL Y SUS CAPTACIONES

El fundamento del control operativo de las ETAP se basa en un enfoque de gestión de riesgos y debe definir primero los puntos críticos de la planta que determinan la correcta evolución del proceso de potabilización subsiguiente, así como su resultado. Definidos los puntos críticos habrá que establecer parámetros de calidad que informen acerca de la eficacia del proceso de tratamiento en función del tipo de proceso considerado y de los reactivos químicos empleados. Todo el control aplicado sigue nuestro Plan Sanitario del Agua diseñado y nuestro Sistema Integrado de Gestión.

En la Figura 2 se recoge la línea de proceso de la potabilizadora con las ubicaciones físicas de los puntos de control operativo establecidos. Los procesos críticos serían los siguientes:

- DAB, depósito de agua bruta.
- A, cámaras de aireación y ozonización.
- P1, P2, P3, P4, decantadores.
- SF1, SF2, salida de sistemas de filtración.
- D1, D2, D3, D4, depósitos de agua tratada.

Captación de aguas brutas pre-potables

El primer control se da en la fuente

de captación mediante una toma de muestras en el propio embalse (o río) y el posterior análisis en el laboratorio de EMACSA de los parámetros recogidos en la Tabla 1(a) de relevancia para la potabilización. Si bien el seguimiento básico es quincenal, en función de dinámicas cambiantes que puedan afectar al proceso en la ETAP la toma de muestras puede ser más exhaustiva incluso más de 1 vez al día.

DAB. Depósito de agua bruta

Está equipado con dos sistemas de control: en continuo mediante sondas y mediante análisis realizados en el laboratorio (ver Tabla 1(b)). Así se com-

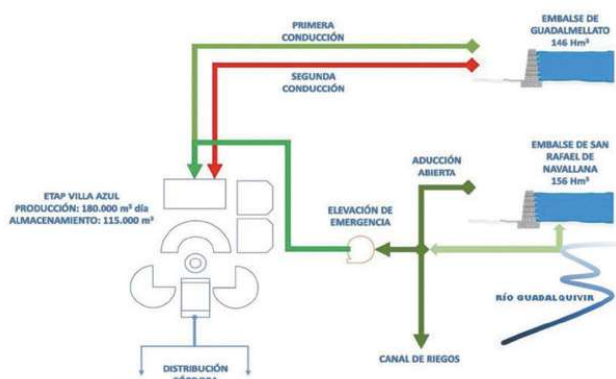


Figura 1: Esquema de aducciones y conducciones a la ETAP de Villa Azul.

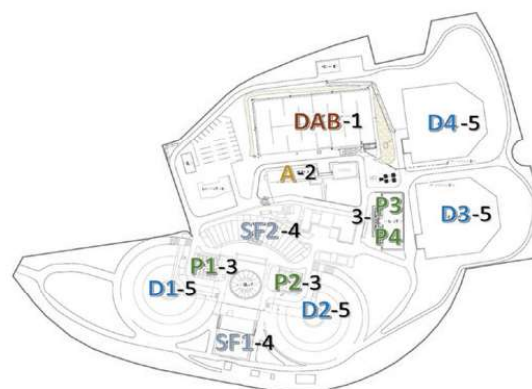


Figura 2: Plano de la ETAP de Villa Azul: línea de tratamiento. En negro, números identificativos de Etapas del proceso operativo de potabilización. En color, fases del tratamiento.

Tabla 1: Control operativo en la ETAP de Villa Azul bruta y ETAP Guadalupe bruta.

(a) Aguas pre-potables en origen (emabalse)

Control Quincenal

T°C, Conductividad, Olor/sulfuros, Color, Turbidez, pH, Conductividad, Oxígeno, Nitritos, Amoníaco, Hierro, Manganeseo, Oxidabilidad, Bicarbonatos, P-total, clorofila (ocasional)

(b) Control operativo en depósito de agua bruta

Control diario	Control semanal	Control anual	Control continuo sondas ETAP
T°C, Color y Turbidez (dos turnos/día), pH, Conductividad, Nitritos, Amoníaco, Hierro, Manganeseo	Oxidabilidad, Nitratos, Dureza, Bicarbonatos, <i>Escherichia Coli</i> , Coliformes fecales, Enterococos, <i>Clostridium perfringens</i> , Plaguicidas	DQO, N-Kjeldahl, P-total, sólidos en suspensión, Cadmio, Níquel, Cobre, Zinc, Plomo, Mercurio, Arsénico, Cromo, Boro, Radiactividad, Salmonela, Oxígeno disuelto, Fluoruros	pH, Conductividad, Turbidez, Manganeseo, Temperatura

Tabla 2: Control operativo en la ETAP de Villa Azul, procesos.

(a) Control operativo en aguas tras salida de aireación-ozonización.

Control diario	Control semanal	Control según tratamiento
Color (dos turnos/día), Turbidez (dos turnos/día), Temperatura, pH, Conductividad, Amoníaco, Hierro, Manganeseo	Oxidabilidad	Ozono residual

(b) Control operativo en aguas tras salida de decantación.

Control diario	Control semanal
Color y Turbidez (dos turnos/día), pH, Hierro, Manganeseo	Oxidabilidad, Bicarbonatos

(c) Control operativo en aguas tras salida de filtración.

Control diario	Control semanal	Control según tratamiento	Control continuo sondas ETAP
Color y Turbidez (dos turnos/día), Hierro, Manganeseo	Oxidabilidad	Dióxido de cloro	Amoníaco

(d) Control operativo en agua a la salida de depósitos de cabecera de ETAP de Villa Azul..

Control diario	Control semanal	Control bimensual	Control semestral	Control según tratamiento (al menos anual)	Control continuo sondas ETAP
T°C, Color y Turbidez (dos turnos/día), Cloro y pH (cada 2 horas), Conductividad, Nitritos, Amoníaco, Hierro, Manganeseo, Coliformes totales, E. Coli, Cloro residual, Aerobios a 22°C, Clostridios, Aluminio	Oxidabilidad, Nitratos, Cloruros, Enterococo, Bicarbonatos, Dureza, THM, Plaguicidas (Autoridad Sanitaria)	Cianuros, Sulfatos, Fluoruros, Cadmio, Níquel, Sodio, Potasio, Cobre, Zinc, Plomo, Arsénico, Cromo, Boro	Microcistina	Dióxido de cloro, Radioactividad	Amoníaco, pH, Turbidez, Cloro, T°C

prueba la eficacia de los reactivos sobre la microbiología del agua, sobre la oxidabilidad y sobre Fe y Mn; además, el control de plaguicidas alerta sobre la necesidad de proceder a la dosificación de CAP.

A. Tras cámara de aireación-ozonización

El agua procedente del depósito de agua bruta que pasa a aireación (Figura 2, A) se controla mediante análisis en laboratorio (ver Tabla 2 (a)). El control del ozono residual se realizaría en el caso de que se usara aire ozonizado en el tratamiento. El seguimiento analítico se enfoca hacia la evolución del color, Fe y Mn para evitar tanto incumplimientos paramétricos como problemas de color y turbidez en el agua tratada.

P1-P2-P3-P4. Decantadores

Aquí se controla el agua de salida mediante análisis de laboratorio (ver Tabla 2(b)).

SF1-SF2. Filtros

En salida de filtros (SF1-SF2) se ubican controles operativos a realizar bajo dos tipos de sistemas: control en continuo, mediante sonda; análisis en laboratorio a una serie de parámetros de interés para el tratamiento (ver Tabla 2(c)).

El seguimiento de la concentración de amoníaco es clave puesto que si su concentración en el agua a desinfectar es alto ($\geq 0,15$ mg/L) esta concentración deberá restarse a la necesaria para generar cloraminas, para no obtener valores no conformes de amonio o de cloro combinado residual.

D1-D2-D3-D4. Depósitos agua tratada

Al agua de salida de depósitos (ver Figura 2, -D1-D2-D3-D4-) se le practica

Tabla 3: Control operativo en agua a la salida de depósito de cabecera de ETAP Guadalupeño.

Control Semanal	Control Semanal
Olor/sabor, Color, Turbidez, pH, Conductividad, Oxígeno disuelto, Nitritos, Armonio, Nitratos, Hierro, Manganeseo, Oxidabilidad, Bicarbonatos, Dureza, Aluminio, THM, Plaguicidas	Microcistina

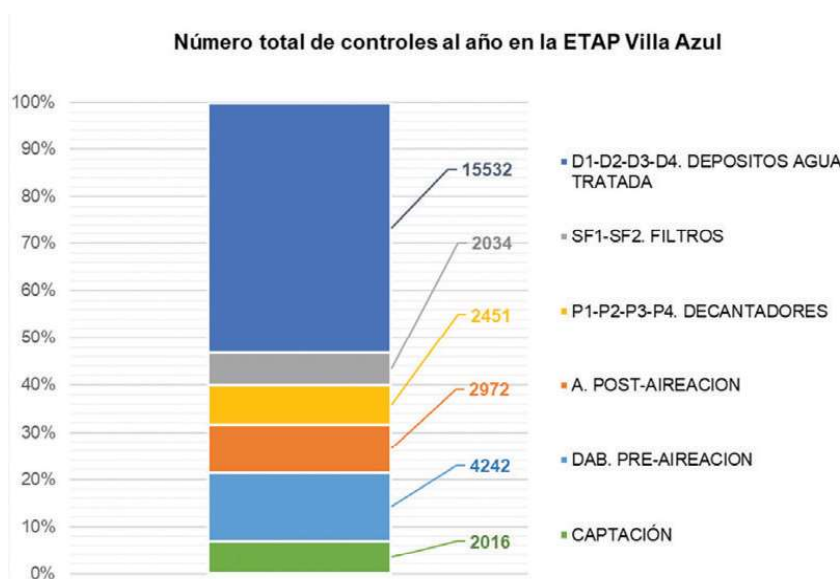


Figura 3: Tipología de análisis realizados como control operativo en la ETAP de Villa Azul.

un seguimiento en paralelo por medio de sondas en continuo, por medio de análisis de laboratorio y por operarios de planta “in situ” (ver Tabla 2 (d)). El seguimiento semanal de THM permite optimizar la eliminación de materia orgánica precursora de los mismos (CAP, y/u oxidación enérgica).

En todo caso el agua a la salida de los depósitos de cabecera de la ETAP debe someterse a todos los controles establecidos por el RD 140/2003 y desde enero el RD 3/2023 lo que supone, exámenes organolépticos en sábados, domingos y festivos de todo el año, 3 análisis de control a la semana, 9 análisis completos al año y 1 análisis anual de radiactividad.

Todo el control operativo en la ETAP de Villa Azul comporta un exhaustivo seguimiento, con casi 30.000 parámetros/año, enfocados a lograr la producción en continuo y con un margen de maniobra inmediato para resolución de incidencias, de casi 23 hm³/año de agua de consumo (Figura 3).

ETAP DE GUADALUPEÑO: CONTROL OPERATIVO APLICADO

El proceso global de tratamiento aplicado en esta ETAP se visualiza en la Figura 4. Con el fundamento teórico de los procesos, reactivos y objetivos ya reseñados para la ETAP de Villa Azul,

pasamos a recoger el Control Operativo aplicado en esta ETAP.

Captación de agua bruta pre-potable

El control en la fuente de captación es quincenal en el propio embalse y con análisis en laboratorio (ver Tabla 1(a)), pudiendo incrementarse la frecuencia en función de dinámicas que puedan afectar al proceso en la ETAP. Existe además determinación on-line de pH y turbidez de agua bruta.

Aireación

El agua de entrada al aireador se somete a los controles y frecuencia ya recogidos en la Tabla 1(a), salvo bicarbonatos e incluido dureza. A la salida del aireador y antes de la desinfección y ajuste de pH semanalmente se determina olor/sabor, color, turbidez, pH, oxígeno, Fe, Mn y bicarbonatos.

Decantadores: dos unidades

Con frecuencia semanal al agua salida de decantadores se le determina color, turbidez, pH, Fe y Mn. En función de rendimientos concretos, se podría incrementar frecuencia y/o parámetros.

Filtración sobre arena y carbón activo granular: seis unidades

Con frecuencia semanal al agua salida de filtros se le determina color, turbidez, Fe y Mn. En función de rendimientos concretos, se podría incrementar frecuencia y/o parámetros.

Depósito agua tratada

Control de cloro residual dos veces, contando al mismo tiempo con sondas on-line de pH y cloro combinado residual. Además, el agua a la salida del depósito de cabecera de la ETAP

(4.000 m³) debe someterse a todos los controles establecidos por la actual normativa vigente (RD 140/2003 y desde enero el RD 3/2023) lo que supone, dos exámenes organolépticos a la semana, 6 análisis de control anuales, 2 análisis completos al año y 1 análisis anual de radiactividad.

CONCLUSIONES

Un eficaz control operativo en una ETAP debe aplicar un enfoque de gestión de riesgos, identificando los puntos críticos del tratamiento así como los parámetros definitorios para conseguir la máxima eficacia de los procesos unitarios aplicados.

Los procesos de tratamiento que se realizan en las ETAP de EMACSA, Villa Azul y Guadalupe, conllevan un control operativo muy exigente considerando más de 40 parámetros, físico-químicos y microbiológicos, realizando controles en laboratorio y en continuo en diferentes etapas del tratamiento.

En todo caso, es actualmente más extenso que el previsto como control operacional en el nuevo RD 3/2023.

En especial, el seguimiento de la potencial presencia de plaguicidas en agua bruta permite anticipar cualquier incidencia indeseable en el agua producida. Por su parte, el seguimiento de THM posibilita ajustar en plazos muy cortos la desinfección final mediante cloraminas.

Más de la mitad de los análisis realizados son controles que se le practican al agua tratada una vez que se encuentra

almacenada en los depósitos de salida de las ETAP. Todo ello garantiza que el resultado final en la producción de agua de consumo sea siempre el idóneo y se pueda actuar con inmediatez ante incidencias puntuales detectadas. ●

BIBLIOGRAFÍA

- Amer. Water Work Assoc. (AWWA) and Amer. Soc. of Civil Eng. (ASCE) (1997). *Water Treatment Plant Desing*. Ed. Mc-Graw Hill, New York.
- Crittenden J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J. and Tchobanoglous, G. (2012). *Water Treatment. Principles and desing*, 3ª ed. Ed. MWH, New York.
- Degrémont. *Manual Técnico del Agua*, 10ª ed. (2005). Ed. Degrémont-Suez, París.
- Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (EMACSA). *Protocolo de Autocontrol y Plan Sanitario del Agua*, 4ª edición, febrero (2021).
- Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (EMACSA). *Procedimientos internos del Sistema Integrado de Gestión* (fecha de renovación de certificación octubre de 2021).
- Marín Galvín, R. *Tecnología del Agua*, 113 (1993) 63-68.
- Marín Galvín, R. *Tecnología del Agua*, 116 (1993) 24-32.
- Marín Galvín, R. *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos*. 2ª ed. (2019). Ed. Díaz de Santos, Madrid.
- Marín Galvín, R., De la Fuente Darder, M. y González Jiménez, Mª Mar. *Infoenviro*, 9 (2005) 63-69.
- Tchobanoglous, G. and Schroeder, E.D. *Water Quality* (1985). Ed. AdissonWesley (Mass.).



Figura 4: Esquema de la ETAP de Guadalupe: línea de tratamiento.

RETEMA

REVISTA TÉCNICA DE MEDIO AMBIENTE

36
AÑOS DE
TRAYECTORIA
1987 - 2023

Nº 244 | ENERO/FEBRERO 2023 | AGUA

REPORTAJE

Transformación digital del agua: Casos de éxito en cuatro de las mayores metrópolis españolas

OPINIÓN

Horizonte 2023:
retos en el sector
del agua

REPORTAJE

Aquapreneurs:
emprendimiento para
atajar la crisis hídrica

REPORTAJE

**El agua en entornos
insulares: de un modelo
lineal a uno circular**

REPORTAJE

**Nueva
depuradora Los
Vados, Granada**

REPORTAJE

**El sector privado como
motor de cambio ante
la crisis hídrica**