

PROYECTO AQUALITRANS

GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS EDAR



Índice

1. GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS EDAR	7
2. CARACTERIZACIÓN DE LAS EDAR EN LA EURORREGIÓN.....	9
3. DIAGNÓSTICOS Y AUDITORIAS ENERGÉTICAS	15
3.1. Objetivo Técnico.....	16
3.2. Metodología de Trabajo.....	19
4. CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL ENERGÉTICO DE LA EDAR	25
4.1. Potencia instalada.....	28
4.2. Sistemas de iluminación	30
4.3. Sistemas de Climatización.....	30
4.4. Bombeo de entrada.....	31
4.5. Pretratamiento	32
4.6. Tratamiento primario.....	33
4.7. Tratamiento secundario.....	34
4.8. Tratamiento Terciario	36
4.9. Línea de lodos	37
4.10. Gestión energética.....	38
4.11. Total de procesos	38
5. MEDIDAS DE MEJORA PROPUESTAS.....	41
5.1. Variadores de Frecuencia	42
5.1.1. Uso de variadores de frecuencia.....	42
5.2. Motores Eléctricos.....	47
5.2.1. Sustitución por motores de alto rendimiento	47
5.2.2. Sustitución de motores averiados por motores de alta eficiencia.....	52
5.2.3. Sustitución de los motores sobredimensionados	56
5.3. Bombas.....	58
5.3.1. Sustitución de bombas sobredimensionadas.....	58
5.4. Procesos de Aireación	63

5.4.1.	Implementación de tecnologías de aireación por difusión	63
5.4.2.	Sustitución de los difusores por difusores de alto rendimiento	66
5.4.3.	Limpieza del circuito de aireación	70
5.4.4.	Sustitución de los difusores defectuosos o de los difusores con pérdida de potencia	73
5.4.5.	Modificar la configuración y el número de difusores.....	76
5.4.6.	Separación del método de aireación y agitación	78
5.4.7.	Aplicación de tecnologías de compresores más eficientes	81
5.4.8.	Redimensionado del tamaño de los compresores.....	85
5.4.9.	Sistemas de control para el sistema de aireación.....	87
5.5.	Sistema de Desinfección Ultravioleta	89
5.5.1.	Ajuste del sistema de desinfección ultravioleta	89
5.5.2.	Uso de lámparas UV de baja presión.....	91
5.6.	Sistema de desodorización	94
5.6.1.	Automatización del sistema de desodorización	94
5.7.	Las tecnologías renovables y el uso de las energías residuales de los procesos	96
5.7.1.	Cogeneración.....	96
5.7.2.	Codigestión	101
5.7.3.	Aislamiento del digestor	104
5.7.4.	Inyección en la red del biogás generado.....	106
5.7.5.	Motores a gas.....	109
5.7.6.	Secado solar de lodos	110
5.7.7.	Minieólica.....	112
5.7.8.	Energía Solar Fotovoltaica.....	116
5.7.9.	Uso de la energía hidráulica	121
5.8.	Iluminación.....	122
5.8.1.	Mejora del sistema de iluminación.....	122
5.9.	Sistemas de Gestión de la Monitorización Energética	125
5.9.1.	Plataforma de monitorización y supervisión energética.....	125
5.10.	Ajuste de la Potencia Contratada.....	128
5.10.1.	Ajuste de la potencia contratada	128
5.10.2.	Traslado de la carga a períodos tarifarios más baratos	130
5.10.3.	Ajuste del factor de potencia.....	132

6. SOLUCIONES INNOVADORAS APLICADAS EN LA ACTUALIDAD	135
6.1. Maximización de la captura de sólidos y materia orgánica en la sedimentación primaria	135
6.2. Tratamientos biológicos innovadores	136
6.2.1. Tratamiento anaeróbico UASB	136
6.2.2. Tratamiento de los licores sobrenadantes y de los filtros de tratamiento de los lodos.....	136
6.3. Tratamientos de lodos antes de la digestión anaerobia	138
6.4. Hidrólisis térmica de lodos	139
6.5. Tratamientos Eléctricos.....	139
6.6. Parámetros de control del proceso de aireación para reactores aeróbicos	140
6.7. Control de los procedimientos de aireación mediante parámetros de amoníaco, nitrato y nitrito	141
6.8. Agitación de los reactores biológicos anaeróbicos y anóxicos ...	142
6.9. Soluciones Descentralizadas	142
7. CONCLUSIONES	145
8. ANEXOS	147
8.1. Anexo 1 – Características de las 178 EDAR de la eurorregión utilizadas en el estudio	147
8.2. Anexo 2- Modelo detallado de informe	161
8.3. Anexo 3 – Caracterización de las EDAR auditadas	166
8.4. Anexo 4 – Resumen de las medidas propuestas para las EDAR auditadas	170

1. GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS EN LA OPERACIÓN DE LAS EDAR

La Guía de Mejoras Prácticas para la Operación de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) forma parte del proyecto AQUALITRANS, que tiene como objetivo incorporar el conocimiento tecnológico adquirido en la ejecución de este proyecto y transmitirlo a las entidades gestoras de estas instalaciones para que operen con un mayor índice de eficiencia.

Este documento se basa en una investigación documental centrada en la recogida, estudio y análisis de los procesos (bombeo, aireación, digestión de lodos,...) que se producen en las EDAR, así como en las soluciones que optimizan el funcionamiento de los equipos y procesos para obtener una mayor eficiencia en términos de tratamiento, menor consumo de energía, menores emisiones de CO₂, menor incidencia de problemas relacionados con los procesos, etc.

Asimismo, la Guía pretende ser un documento de referencia para las entidades gestoras de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), para que, por un lado, puedan identificar las posibles medidas de mejora que se pueden aplicar en sus instalaciones y, por otro, disponer de información útil para evaluar la viabilidad técnica y económica de la implantación de las diferentes medidas de mejora que se persiguen.

A fin de lograr los objetivos mencionados, en la Guía se abordarán las siguientes cuestiones relacionadas con:

- Caracterización de las depuradoras de la Euroregión en términos de tipo de tratamiento, volumen de agua tratada, número de habitantes equivalentes y su consumo energético.
- Establecimiento de metodologías para la realización de diagnósticos/ auditorías energéticas en este tipo de instalaciones.
- Definición del perfil energético de las EDAR, teniendo en cuenta el diagnóstico energético/auditorías realizadas, para un grupo más reducido en cuanto al número de EDAR representativas, en el que se llevará a cabo un desglose en términos de vectores y consumo energético por los diferentes procesos y equipos existentes.
- Análisis técnico y económico de las medidas y soluciones que pueden contribuir a mejorar el rendimiento energético y operativo de una EDAR.

2. CARACTERIZACIÓN DE LAS EDAR EN LA EURORREGIÓN

En este apartado se realizará una caracterización de las depuradoras existentes en la Eurorregión en términos de: tipo de depuración, volumen de agua depurada, habitantes equivalentes y consumo energético correspondiente. Para ello, y en el marco del proyecto AQUALITRANS, se recogió la información de un grupo de 178 EDAR presentes en la Eurorregión, lo que permitió esta caracterización.

El objetivo principal del proyecto AQUALITRANS es mejorar la eficiencia energética del proceso de tratamiento de aguas residuales en las EDAR, asegurando en todo momento la calidad del agua tratada y consiguiendo los mejores rendimientos de tratamiento, un menor consumo energético y emisiones de CO₂ y la reducción de los problemas de proceso. Para conseguir este objetivo, es imprescindible investigar cómo se gestionan actualmente los recursos energéticos en las EDAR existentes, establecer cuánta energía se consume, cuándo y en qué equipos y procesos y, en función de ello y tomando como referencia la guía teórica de mejora, seleccionar y evaluar las medidas de ahorro que mejor se ajusten. En definitiva, se trata de establecer un perfil energético que permita modelar soluciones replicables en otras instalaciones de similares características.

El proceso de tratamiento de las aguas residuales puede llevarse a cabo a través de diversos sistemas, que varían en función de las dimensiones del proceso, los contaminantes a eliminar, las inversiones iniciales disponibles, etc. Por lo tanto, no es fácil seleccionar un número relativamente pequeño de EDAR que sean representativas de todas las existentes.

En el momento de la preparación de este estudio, se disponía de datos sobre 178 depuradoras de aguas residuales en la Eurorregión (véase el Anexo 1).

Tabla 1. Caracterización de 178 depuradoras en la Euroregión

Volumen de agua tratada m3/mes	Nº	Habitantes equivalentes h.e.	Caudal tratado hm3/año	Consumo electricidad GWh/año	Consumo unitario kWh / h.e.	Consumo medio kWh/m3
> 2.500.000	2	1.000.000	91,96	32,55	32,55	0,354
500.000 a 2.500.000	9	1.377.516	129,76	57,90	80,93	1,029
100.000 a 500.000	46	1.436.058	110,67	41,34	52,86	1,077
25.000 a 100.000	79	716.146	53,73	22,61	58,95	1,017
< 25.000	42	141.074	9,24	6,01	76,77	2,618
Total Euroregión	178	4.670.794	395,36	160,42	34,34	0,406

Como se puede observar, el consumo medio por m³ de agua tratada es muy inferior al producido en las EDAR de menor tamaño, ya que éstas tienen poco peso en el total de los valores agrupados analizados.

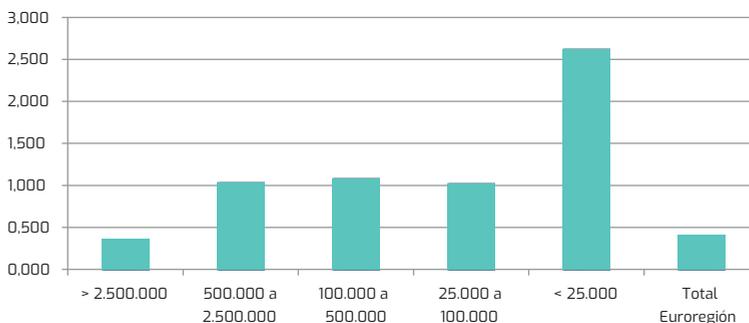


Figura 1: Consumo medio de las EDAR de la Euroregión kWh/m³

Las aguas residuales urbanas se generan como resultado de la actividad humana y consisten principalmente en restos de necesidades fisiológicas (heces, orina), preparación de alimentos (aceites, residuos) y productos de limpieza e higiene (jabón, detergentes, etc.). Dado su alto potencial contaminante, deben ser tratados antes de ser devueltos al medio receptor (ríos, mares, etc.) y así salvaguardar su equilibrio ecológico.

Las aguas residuales se recogen a través de una red de colectores y se llevan a una EDAR. En este lugar, tras ser sometidos a diferentes procesos, su contaminación se reducirá a los valores límite impuestos por la legislación vigente para ser devueltos finalmente al medio receptor en las mejores condiciones posibles.

El tratamiento no es más que transformar la materia orgánica y otros contaminantes presentes en las aguas residuales en sólidos sedimentados o flotantes que son fáciles de separar (lodos). Durante el proceso de

tratamiento se generan dos efluentes: el agua tratada que se vierte directamente en el canal y el lodo, que es el conjunto de sólidos sedimentados en la sedimentación primaria (lodo primario) y el licor mezclado en exceso del reactor biológico (lodo secundario).

Dado el alto contenido de agua en el lodo (superior al 95%), es necesario tratarlo para reducir su volumen, facilitando su manipulación y posterior transporte.

El destino final de los lodos puede ser la reutilización agrícola y la recuperación de materiales y/o energía. Por lo tanto, en cualquier EDAR se puede diferenciar la línea de agua de la Línea de lodos.

Los principales Procesos que se pueden diferenciar en una EDAR son:

Bombeo de entrada	Dependiendo de la ubicación de la EDAR, puede ser necesario bombear en la entrada de aguas residuales.
Pretratamiento	Proceso en el que se eliminan grandes sólidos, arenas y grasas. Dispositivos: depósito de grasas, separador de materiales gruesos y finos, desarenador-desengrasante.
Tratamiento primario	Eliminación de sólidos en suspensión (sólidos inertes, materia orgánica particulada...)
Tratamiento secundario	Tratamiento biológico que transforma la materia orgánica de las aguas residuales en biogás, gases, energía y agua.
Tratamiento terciario	Sólo en plantas de tratamiento de aguas residuales que vierten en un área protegida. Eliminación de nutrientes: para minimizar al máximo la aportación de nutrientes, por lo que puede ser necesario dosificar algún tipo de reactivo para precipitar el fósforo. Desinfección: reducir la cantidad de microorganismos patógenos en el agua (ultravioleta y dosis de un desinfectante).
Línea de lodos	Tratamiento de subproductos originados en la línea de agua. Espesamiento, estabilización, deshidratación y secado. Descarga. Usos de los lodos tratados: reutilización agrícola, recuperación de energía, vertedero controlado...

Los procesos que componen una planta depuradora y determinan su tipología, dependen de varios factores como el tipo de carga contaminante en las aguas residuales (industriales o urbanas), el rendimiento requerido para la eliminación de contaminantes, la temporalidad del caudal entrante, la situación geográfica, la disponibilidad del espacio físico para su construcción, etc.

Aunque puede haber muchas variaciones, sólo se han considerado dos tipos principales de tratamiento, dependiendo de los principales procesos utilizados para eliminar los contaminantes:

Para ello, se consideraron dos tipos principales de tratamiento:

- **Físico-químico**, con o sin tratamiento biológico posterior, utilizando sistemas de coagulación y floculación.

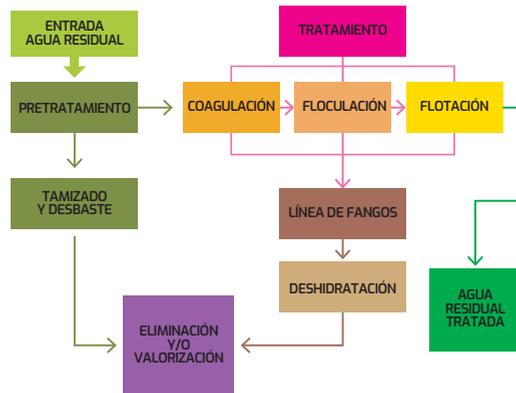


Figura 2: Esquema de una planta de tratamiento físico-químico

- **Biológico**, con o sin eliminación de nutrientes, por acción de microorganismos que consumen la materia orgánica y la transforman en nuevas células biodegradables o fáciles de eliminar.

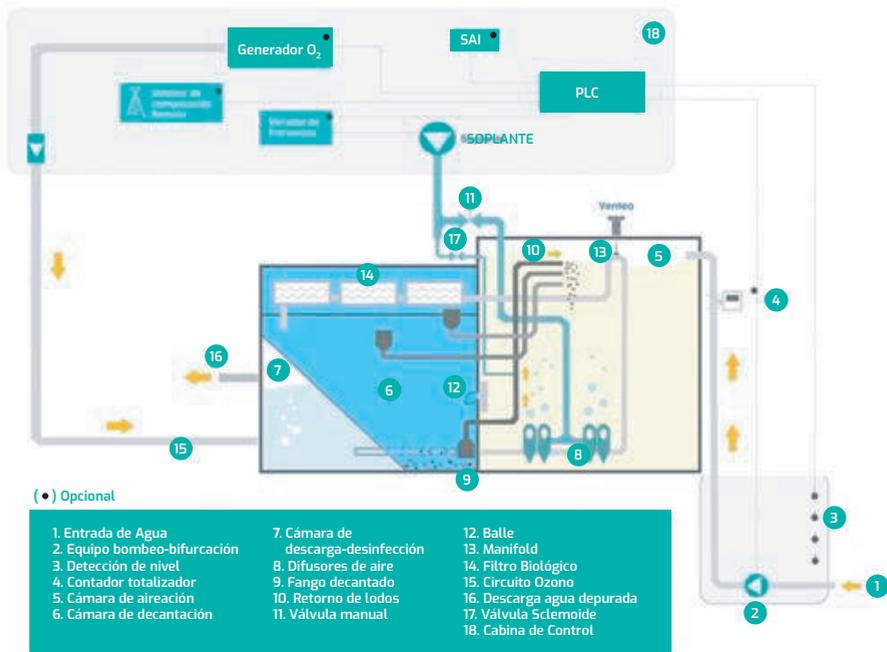


Figura 3: Esquema de una planta de tratamiento biológico

En las plantas de tratamiento físico-químico, los tratamientos proporcionan rendimientos de tratamiento significativamente más bajos que los

tratamientos biológicos. En el caso de las aguas urbanas, la eliminación de DBO en este tipo de plantas es del orden del 35% y la de los materiales sedimentarios hasta el 90%.

La presencia de aguas industriales puede reducir el rendimiento de la eliminación de DBO hasta en un 10%. En estos casos, los materiales en suspensión no sedimentados pueden separarse por coagulación, obteniendo un resultado más eficaz que una simple decantación.

La coagulación también elimina ciertos materiales pesados como los fosfatos, consiguiendo una eliminación de la DBO del orden del 70% y de los materiales en suspensión de más del 90%. Estos tratamientos ahorran inversión inicial y espacio para la instalación, pero tienen altos costos de operación, principalmente debido al uso de productos químicos, y representan un aumento considerable en la producción de lodos.

En las plantas de tratamiento biológico se consigue una eliminación más completa de la contaminación orgánica por acción bacteriana. En los sistemas más utilizados, como los filtros de lodos activados o de percolación, se consigue una reducción de la DBO de entre el 90 y el 95%.

En ambos casos, se generan residuos, denominados lodos, que requieren un tratamiento posterior en la Línea de lodos antes de su gestión final.

De los dos tipos de depuradoras presentadas, las más numerosas son las biológicas, que representan casi el 96% del grupo analizado.

Tabla 2. Caracterización de 178 EDAR de la Eurorregión por su tamaño

Volumen de agua tratada m ³ /mes	nº EDAR analizadas	EDAR Físico-Químicas	EDAR Biológicas
> 2.500.000	2	0	2
500.000 a 2.500.000	9	0	9
100.000 a 500.000	46	0	46
25.000 a 100.000	79	5	74
< 25.000	42	2	40
Total Eurorregión	178	7	171

3. DIAGNÓSTICOS Y AUDITORIAS ENERGÉTICAS

El objetivo principal de las Auditorías Energéticas es identificar y evaluar las oportunidades de ahorro energético en cada uno de los procesos de las EDAR de forma personalizada, priorizándolas en función de su rentabilidad y del período de retorno.

Entre los principales beneficios que pueden obtener las empresas responsables de las instalaciones se encuentran los siguientes:

- La optimización del consumo de recursos energéticos y la incorporación de buenas prácticas y nuevas tecnologías energéticas que permitan a las EDAR conseguir un equilibrio entre el mantenimiento o mejora de los parámetros de calidad del agua y la reducción de sus costes de explotación.
- Aumentar la vida útil de las instalaciones o equipos, buscando las condiciones de funcionamiento más adecuadas y evitando sobredimensionamientos o sobrecargas.
- Mejorar la imagen de la empresa contribuyendo a la protección del medio ambiente mediante la reducción de las emisiones de CO₂.
- Dentro del marco organizativo, el establecimiento de un Sistema de Gestión Energética permitirá a las entidades gestoras de las EDAR aumentar significativamente su capacidad de monitorización continua del consumo energético y la posibilidad de identificar oportunidades para reducir el consumo energético y los costes asociados.
- La auditoría es un primer paso para conocer la trazabilidad de la energía mediante la asignación de costes y consumos en relación con las líneas de proceso de tratamiento y los parámetros de calidad de los efluentes.

La Auditoría Energética consiste en una serie de visitas in situ por parte de personal especializado, cuyo número variará en función del tamaño de la EDAR y de las necesidades específicas para la evaluación energética de la planta. Estas visitas, junto con la aplicación de una metodología de trabajo específica, darán lugar a la elaboración y entrega de un informe personalizado.

3.1. OBJETIVO TÉCNICO

Las auditorías energéticas sirven para detectar y cuantificar soluciones eficientes y de ahorro energético en las instalaciones estudiadas.

El objetivo último del estudio es proporcionar información suficiente para que las sociedades gestoras de las depuradoras puedan evaluar qué medidas de ahorro propuestas en las depuradoras analizadas pueden ser de mayor interés tanto por el impacto económico existente como por las necesidades cotidianas de la gestión y explotación de todas sus instalaciones.

Se consideraron los siguientes bloques para el estudio:

BLOQUE 1: FACTURACIÓN ENERGÉTICA

Consiste en un análisis detallado de la facturación eléctrica de la EDAR, estudiando las facturas y los puntos de suministro energético.

En el análisis de facturación, se estudian principalmente los siguientes puntos:

- Evaluación del consumo de energía en base a facturas y curvas de carga, en los lugares donde se dispone de esta información. Con este análisis se obtendrá un perfil de consumo de la instalación analizada, que permitirá al usuario conocer el régimen de funcionamiento de los equipos principales y la evolución temporal del consumo energético.
- Adecuación de la tarifa contratada. Se analizarán las condiciones de facturación (tipo de tarifa, potencia contratada, penalizaciones asociadas a la energía reactiva y su adaptación al perfil de consumo de las instalaciones).

BLOQUE 2: INSTALACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO

Incluye el análisis del proceso de tratamiento existente en las instalaciones, las etapas de tratamiento que componen el proceso en cuestión y el estudio de los principales equipos consumidores de energía tanto en la línea de líquido como en la línea de lodos, entre los que destacan los siguientes ejemplos:

- Ventiladores.
- Bombeo de agua residual.
- Bombeo de lodos (exceso e de recirculación).
- Rotores.
- Aceleradores de corriente.
- Deshidratación.
- Equipos de desinfección.
- Restantes equipos asignados a los procesos.

En la EDAR se evaluarán los siguientes aspectos:

- Régimen de operación de los equipos que utilizan energía.
- Potencia del equipo y horas de funcionamiento.
- Consumo anual de equipos.
- Utilización de convertidores de frecuencia en las bombas.
- Uso de arrancadores suaves en las bombas.
- Estrategia de ajuste de la estación de bombeo: escalonada o compartida.
- Tecnología de ventiladores y compresores y uso de convertidores de frecuencia en estos equipos.
- Interrupción del proceso de deshidratación en períodos con tarifas energéticas más económicas.
- Gestión de la operación simultánea de equipos para reducir la potencia contratada.

BLOQUE 3: INSTALACIONES TÉCNICAS GENERALES

Incluye el análisis de las instalaciones generales de la planta no directamente relacionadas con el proceso de tratamiento. En función de la pertinencia para el consumo global de energía de la instalación, podrán analizarse los puntos siguientes:

- Sistema de iluminación
 - Estudio de luminarias, potencia instalada, horas de funcionamiento, vida útil, nivel de iluminación medido y exigido por la norma y normativa.
 - Análisis de la sustitución de los equipos existentes por tecnologías más eficientes, uso de sistemas de control en función de las horas de trabajo, factores ambientales y/o presencia.
 - Centro de Transformación.
 - Características técnicas de los transformadores.
 - Régimen laboral.
 - Porcentaje de carga que soporta cada transformador.
 - Pérdidas eléctricas en carga y en reposo. Equipo de aire acondicionado

Balance energético de grupos frigoríficos y bombas de calor para climatización, analizando sus características técnicas, curvas de funcionamiento, potencias medias, condiciones de funcionamiento, coeficiente de funcionamiento (EER/COP), red de distribución, etc.

En vista de su optimización energética, se evaluará:

- Sustitución completa de la instalación por tecnologías más eficientes.
- Renovación del aislamiento.

- Control del rango de temperatura.
- Optimización de la secuencia operativa.
- Instalación de un sistema de control global de la instalación.
- Viabilidad de la aplicación de sistemas de free-cooling.
- Viabilidad de implementar sistemas de recuperación de calor.

BLOQUE 4: SISTEMA DE CONTROL DE LAS INSTALACIONES TÉCNICAS

Consistirá en un estudio y análisis del funcionamiento del sistema de control que rige el funcionamiento de los equipos de las plantas de tratamiento.

Los objetivos son:

- Visualización de los parámetros operativos de los equipos y procesos.
- Conocimiento de la capacidad de parametrización del sistema de control.
- Monitorización y extracción de datos de operación.

Mediante el análisis del sistema de control se pretende obtener información técnica que complemente la información descriptiva de los procesos que tienen lugar en las plantas de tratamiento, de forma que se pueda obtener información útil sobre la posibilidad de mejorar las directrices de funcionamiento en la regulación y operación del equipo, así como detectar posibles valores fuera del rango de funcionamiento óptimo.

BLOQUE 5: ENERGÍAS RENOVABLES

Consistirá en el estudio y análisis de la implantación de tecnologías renovables que puedan ser aplicadas en las plantas de tratamiento. Por ejemplo, podrían estudiarse tecnologías como la solar fotovoltaica, las micro turbinas, la mini eólica y, en su caso, la cogeneración con biogás.

BLOQUE 6: GESTIÓN ENERGÉTICA

Consistirá en el estudio y análisis de la implantación de un sistema de gestión energética mediante el seguimiento en tiempo real de los consumos y parámetros energéticos y del proceso que permita su visualización en un software específico, permitiendo así la gestión, supervisión y control de las variables registradas.

La implantación de software específico para la gestión energética permite medir el consumo total y parcial de energía, crear indicadores energéticos para evaluar el grado de eficiencia de una instalación, elaborar informes energéticos o realizar una evaluación continua de la eficiencia energética de la estación.

El estudio de implementación incluirá los siguientes puntos:

- Identificación de las variables de consumo más representativas a controlar.
- Análisis del hardware específico para la medición de los parámetros.
- Definición de la arquitectura de comunicaciones del sistema.
- Búsqueda de soluciones alternativas para llevar a cabo la comunicación de los datos del contador a los concentradores / gateway, y de éstos al software de gestión y control de energía.
- Funcionalidad del software. Descripción detallada de las funcionalidades que ofrece el sistema.
- Presupuesto para la instalación de equipos de Monitorización.

3.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

A partir de los objetivos técnicos presentados, se describe la metodología de trabajo para la realización de una auditoría energética de la EDAR.

Las etapas del proyecto son:

- Fase 1: Solicitud de información inicial.
- Fase 2: Análisis de la información recibida.
- Fase 3: Trabajo de campo.
- Fase 4: Trabajo de gabinete.
- Fase 5: Preparación del informe.
- Fase 6: Presentación del informe.



Figura 4: Metodología de trabajo

FASE 1. SOLICITUD DE INFORMACIÓN INICIAL

Un primer paso consiste en la solicitud de información inicial, que permitirá al equipo de expertos obtener un conocimiento previo y una contextualización del trabajo a desarrollar y de la instalación a evaluar, que incluye:

- Contacto con la empresa responsable de la gestión de la EDAR para explicar el estudio a realizar.
- Registro de personas de contacto de gestión y mantenimiento.
- Presentación de un formulario estándar de solicitud de información, que incluye los principales aspectos técnicos a tener en cuenta para la preparación de la Auditoría Energética.

La información solicitada incluirá los siguientes puntos:

- a) Contabilización de consumos energéticos:
 - Facturación de la energía en relación con los años analizados.
 - Registros y curvas de consumo de contadores/analizadores parciales.
 - Registros de variables de operación.
- b) Planos de las instalaciones (en la medida de lo posible).
 - Esquema descriptivo del proceso de tratamiento.
 - Esquemas unifilares. Datos de equipos e instalaciones:
- c) Características técnicas de los equipos.
 - Régimen de funcionamiento.
 - Potencia nominal y/o carga de funcionamiento.
 - Rendimientos y variables de operación.
- d) Memoria de control de funcionamiento de las instalaciones.
 - Parámetros de funcionamiento de los equipamientos principales.

También se debe solicitar a la entidad responsable de la EDAR que colabore con el personal cualificado responsable de la EDAR, facilitando la aportación de la información necesaria y la aclaración de las dudas que puedan surgir durante el diagnóstico, con el fin de permitir el correcto desarrollo del estudio.

FASE 2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECIBIDA

Tras recibir la información solicitada, se realiza un análisis de los resultados con el equipo técnico responsable del estudio, estableciendo un prediagnóstico de la EDAR en el campo energético. A partir de esta información, es posible planificar el trabajo de campo a realizar y construir una lista de control de los puntos a estudiar durante las visitas técnicas.

El objetivo es que el técnico encargado de las vistas realice el trabajo de campo ya que dispone de una considerable base de información que le permite optimizar las visitas, centrándose en los puntos de mayor incidencia en la curva de consumo de la instalación.

FASE 3. TRABAJO DE CAMPO.

El trabajo de campo consiste en realizar las visitas necesarias para recoger y solicitar la información necesaria para el desarrollo del estudio. Dependiendo de la capacidad de la empresa para proporcionar la información inicial, estas visitas pueden llevarse a cabo simultáneamente con la solicitud de información.

Una vez que se haya iniciado el trabajo de la oficina y se haya preparado el informe final, puede ser necesario aclarar cualquier duda que pueda surgir durante el curso del trabajo.

Durante las visitas, intentaremos detectar los puntos débiles de la empresa desde el punto de vista de la eficiencia energética. Para evitar incertidumbres, las mediciones deben llevarse a cabo según se considere necesario, y el equipo de medición podrá ser, por ejemplo:

- Analizadores de redes eléctricas: equipos que permiten medir una serie de parámetros eléctricos en el punto de medida: tensión, corriente, factor de potencia, etc.
- Cámara termográfica: funcionan de forma similar a una cámara fotográfica, dando como resultado un mapa de la temperatura de la imagen enfocada. Es de gran interés detectar puntos calientes en los circuitos eléctricos, deficiencias en el aislamiento de las instalaciones térmicas.

A partir de la adquisición de datos, por un lado, se analizará la distribución de las cargas del sistema y, por otro, se obtendrá información suficiente sobre el consumo energético y las variables medidas, realizando un análisis exhaustivo de las curvas de consumo del sistema para detectar posibles oportunidades de mejora en el funcionamiento y la implantación de medidas de ahorro energético.

FASE 4. TRABAJO DE GABINETE

Una vez recogidos los datos necesarios durante las visitas técnicas, se realizará un estudio de los puntos de mayor ineficiencia energética detectados durante las visitas y se presentarán propuestas de mejora que indiquen su viabilidad mediante un primer cálculo de la inversión necesaria para su implantación, los ahorros que aportarán y el período de retorno simple de dicha inversión.

Este proceso de análisis suele llevarse a cabo simultáneamente con las visitas técnicas y la preparación del informe final.

Las propuestas mencionadas serán aproximaciones, ya que no son un estudio detallado de ingeniería, sin embargo, en muchas ocasiones serán propuestas finales sin ningún tipo de variación.

FASE 5: PREPARACIÓN DEL INFORME

En esta fase, las propuestas de mejora de la eficiencia energética ya deberían estar definidas y debería elaborarse el informe final, que incluirá la información analizada sobre los resultados energéticos y las medidas que se propongan. Esta información debe presentarse de tal manera que facilite la comprensión de los aspectos tratados.

La estructura y el contenido del informe de resultados serán los siguientes:

PARTE 1: DESCRIPCIÓN INICIAL

- Datos generales de las plantas de tratamiento.
- Datos de proceso generales.
- Inventario de equipos principales.

PARTE 2: ANÁLISIS DE LA HISTORIA DEL CONSUMO GENERAL.

- Evolución del consumo evaluado por fuente de energía.
- Distribución del consumo por sistema y fuente de energía (a partir de datos medidos y aplicando estimaciones según el régimen de explotación).
- Análisis de la contratación de la factura energética.

PARTE 3: INDICADORES DE ENERGÍA

- Establecimiento de relaciones de energía en función de variables dinámicas y estáticas.
- Análisis comparativo con indicadores de referencia.

PARTE 4: AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES

- Análisis de cada sistema de forma independiente estudiando:
 - Descripción del equipo y sus perfiles de operación actuales.
 - Memoria de control y parametrización.
 - Consumo de energía y emisiones de CO₂ asociadas.
- Propuestas de medidas de ahorro energético:

- Descripción detallada de las medidas de ahorro energético propuestas para cada sistema.
- Justificación del ahorro energético conseguido.
- Elaboración del presupuesto de inversión.
- Análisis financiero, en el que se analizarán los parámetros financieros de cada medida propuesta: TIR, valor real, período de retorno de la inversión, flujo de caja, etc.
- Análisis de sensibilidad de la inversión en función de la variación de las variables más significativas (costes energéticos, inversión final).

PARTE 5: ENERGÍAS RENOVABLES Y UTILIZACIÓN DE LAS ENERGÍAS RESIDUALES

- Estudio de viabilidad para la implantación de energías renovables.
- Estudio de tecnologías para la recuperación de la energía residual generada en el proceso para su utilización en el propio proceso o a terceros.

PARTE 6: RESUMEN DE LAS MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO

- Relación de todas las medidas de ahorro energético estudiadas con los valores resumidos de: ahorro energético, ahorro económico, inversión necesaria y plazo de amortización.

ANEXO: MEDIDAS APLICADAS (EN CASO DE ACEPTACIÓN DE LA CASILLA 6)

- Gráficos y resultados obtenidos de todas las mediciones realizadas.

Como resultado de la auditoría energética, la entidad responsable de la planta de tratamiento de aguas residuales obtendrá una imagen suficientemente representativa de la eficiencia energética global para poder determinar las oportunidades de mejora más significativas.

En el Anexo 2 se presenta un modelo detallado de la estructura y composición del informe de auditoría.

FASE 6: PRESENTACIÓN DEL INFORME.

El informe final se entregará a la entidad auditada o responsable de la instalación. Si se considera oportuno, se celebrará una reunión de presentación en la que se comentarán las medidas propuestas. En cualquier caso, se demostrará la disponibilidad para cualquier aclaración de las dudas que puedan surgir de la lectura del informe por parte de la entidad responsable de la instalación auditada.

4. CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL ENERGÉTICO DE LA EDAR

A partir de la información recogida en los diagnósticos y auditorías energéticas realizadas por el operador de la planta y/o por empresas externas a la EDAR, será posible caracterizar el perfil energético de la planta. Esta caracterización no sólo incluirá un desglose del consumo de energía en términos de vectores, sectores, procesos y equipos, sino que también servirá para identificar a los principales consumidores dentro de la planta, evaluar las respectivas eficiencias energéticas de los procesos/equipos, establecer indicadores de eficiencia, identificar puntos de ineficiencia dentro de la planta y listar medidas o soluciones de mejora para estos puntos.

En el marco del proyecto AQUALITRANS se han realizado 20 auditorías energéticas (10 en Portugal y 10 en Galicia) según la norma UNE EN 16247.

Para extrapolar los resultados a la mayoría de las EDAR existentes, se seleccionó una muestra representativa de las principales configuraciones.

Así, se seleccionaron 2 plantas de tratamiento físico-químico y 18 plantas de tratamiento biológico.

Tabla 3. Caracterización de 20 EDAR, en términos de tipología de tratamiento

	Biológicas	Físico-química
Bombeo	12	2
Pretratamiento	18	2
Tratamiento primario	-	2
Tratamiento secundario	18	-
<i>Lodos activados</i>	14	-
<i>Lechos Percoladores</i>	2	-
<i>Reactores biológicos</i>	2	-
Tratamiento terciario	15	2
<i>Eliminación de nutrientes</i>	3	-
<i>Eliminación de nutrientes + Desinfección UV</i>	8	-
<i>Desinfección UV</i>	4	2
Líneas de lodos	18	2

Se han seleccionado depuradoras de diferentes tamaños, desde 3.000 H.e en Vilaboa, con un consumo anual de 92.626 kWh/año, hasta 200.000 H.e en Sobreiras, con un consumo de 11.410.000 kWh/año. De las 20 EDAR auditadas, sólo 2 utilizan un proceso físico-químico para la eliminación de la materia biológica.

De la cubierta total, sólo 14 de las EDAR auditadas disponen de un sistema de bombeo de entrada para facilitar la entrada de agua bruta en el proceso de tratamiento. En todos ellos se realiza un pretratamiento para la eliminación de sólidos gruesos, arenas, grasas, etc... En el caso de los lodos biológicos, el 78% dispone de un sistema de lodos activos con aireación. Aproximadamente la mitad de las plantas de tratamiento tienen un sistema de lecho difusor y el resto con aireadores de superficie, y alrededor del 75% de las plantas auditadas tienen un tratamiento terciario, en la mayoría de los casos basado en un proceso de desinfección UV.

La EDAR de Ponte da Baía e Sousa utiliza los lodos generados para producir biogás, que se utiliza para generar electricidad.

Tabla 4. Caracterización de las 20 depuradoras, en términos de habitantes equivalentes de proyecto y tipología, en las que se realizaron las auditorías

	EDAR	Localización	H.e. proyecto	Tipología
EDAR 1	A Pobra	GALICÍA	30.000	Biológica
EDAR 2	Ares	GALICÍA	52.000	Biológica
EDAR 3	Gondomar	GALICÍA	24.000	Biológica
EDAR 4	Nigrán	GALICÍA	70.000	Biológica
EDAR 5	Ribadeo	GALICÍA	37.500	Biológica
EDAR 6	Arcade	GALICÍA	8.621	Físico-química
EDAR 7	Cedeira	GALICÍA	10.395	Biológica
EDAR 8	Ortigueira	GALICÍA	5.000	Biológica
EDAR 9	Tomiño	GALICÍA	8.454	Biológica
EDAR 10	Vilaboa	GALICÍA	3.032	Físico-química
EDAR 11	Barcelos	Norte Portugal	133.250	Biológica
EDAR 12	Chaves	Norte Portugal	57.748	Biológica
EDAR 13	Freixo	Norte Portugal	170.000	Biológica
EDAR 14	Lamego	Norte Portugal	19.300	Biológica
EDAR 15	Penices	Norte Portugal	32.404	Biológica
EDAR 16	Ponte da Baía	Norte Portugal	45.127	Biológica
EDAR 17	Serzedo	Norte Portugal	97.196	Biológica
EDAR 18	Sobreiras	Norte Portugal	200.000	Biológica
EDAR 19	Sousa	Norte Portugal	89.913	Biológica
EDAR 20	Vila Real	Norte Portugal	84.321	Biológica

A continuación se presentan las principales variables observadas en las diferentes auditorías:

Tabla 5. Caracterización de 20 depuradoras, en términos de habitantes reales equivalentes, volumen tratado, energía consumida y emisiones gaseosas.

	EDAR	H.e. reales	Volumen tratado m ³ /día	kWh Consumidos	Emisiones CO ₂ Tn/año
EDAR 1	A Pobra	26.555	6.496	1.470.066	573,34
EDAR 2	Ares	18.285	14.804	756.464	295,03
EDAR 3	Gondomar	19.615	10.083	791.258	308,60
EDAR 4	Nigrán	19.929	9.599	1.337.613	521,68
EDAR 5	Ribadeo	7.614	5.922	680.880	265,55
EDAR 6	Arcade	6.115	3.206	248.729	97,01
EDAR 7	Cedeira	6.097	3.220	346.763	135,24
EDAR 8	Ortigueira	2.508	860	179.458	69,99
EDAR 9	Tomiño	9.431	2.521	319.872	124,75
EDAR 10	Vilaboia	2.647	1.189	92.626	36,13
EDAR 11	Barcelos	92.394	17.543	1.482.530	578,20
EDAR 12	Chaves	24.762	7.041	769.671	300,18
EDAR 13	Freixo	171.408	23.858	4.543.230	1.771,91
EDAR 14	Lamego	11.719	1.764	763.529	297,78
EDAR 15	Penices	19.106	2.363	814.322	317,59
EDAR 16	Ponte da Baia	23.347	4.126	1.381.154	456,97
EDAR 17	Serzedo	41.297	6.962	2.875.507	1.121,48
EDAR 18	Sobreiras	145.288	34.099	11.405.659	4.448,32
EDAR 19	Sousa	74.313	5.344	1.452.719	406,04
EDAR 20	Vila Real	69.240	6.161	2.167.798	845,46
TOTAL AUDITADO		791.670	167.160	33.879.849	12.971,25

El principal (y único, en la mayoría de los casos) consumo de energía en las plantas de tratamiento de aguas residuales es la electricidad.

Más del 90% del consumo se produce en los procesos de tratamiento. A partir de la información derivada de las auditorías energéticas realizadas y suministradas por los diferentes organismos responsables de la EDAR, se estableció el consumo eléctrico esperado de los diferentes equipos y procesos existentes.

Como se verá en los apartados siguientes, el consumo de otros equipos, como el aire acondicionado y la iluminación, es muy bajo en relación con el total de la instalación.

4.1. POTENCIA INSTALADA.

La mayoría de las EDAR tienen una potencia de diseño e instalación superior a la media definida por entidades como IDEA, debido principalmente al sobredimensionamiento de determinados equipos y a la duplicación de procesos como medida para asegurar el servicio.

Teniendo en cuenta la información recogida durante las auditorías energéticas, se determinó la siguiente distribución en términos de potencia instalada para las 19 de las 20 centrales auditadas:

Tabla 6. Distribución de la potencia instalada entre los diferentes procesos

EDAR	Bombeo	Pretrat.	Trat. 1ª	Trat. 2ª	Trat. 3ª	Lodos	Otros	TOTAL
A Pobra	164,00	9,60	0,00	251,20	0,00	80,98	9,04	514,82
Ares	0,00	24,51	0,00	270,74	0,00	91,82	44,80	431,87
Gondomar	66,00	24,12	0,00	186,25	16,70	47,18	24,60	364,85
Nigrán	429,40	41,14	0,00	363,09	15,00	191,02	49,58	1.089,23
Ribadeo	100,00	12,29	0,00	261,22	13,10	0,00	97,39	484,00
Arcade	48,00	16,65	56,49	0,00	5,76	10,65	4,50	142,05
Cedeira	0,00	5,90	0,00	80,00	9,75	29,31	6,26	131,22
Ortigueira	22,00	2,70	0,00	23,17	2,37	2,87	8,00	61,11
Tomiño	31,40	3,20	0,00	94,90	2,00	47,10	6,10	184,70
Vilaboa	13,00	8,00	28,96	0,00	1,71	6,52	4,79	62,98
Chaves	0,00	36,17	0,00	784,06	13,20	113,65	167,47	1.114,55
Freixo	0,00	53,60	0,00	1.002,40	75,50	301,70	142,50	1.575,70
Lamego	0,00	6,42	0,00	206,81	25,88	62,23	110,42	411,76
Penices	64,98	20,20	0,00	262,04	0,00	90,84	58,60	496,66
Ponte da Baia	119,20	32,66	0,00	234,67	32,98	137,64	317,54	874,69
Serzedo	111,00	37,01	0,00	704,32	34,80	138,08	1,02	1.026,23
Sobreiras	480,00	135,4	0,00	1.812,80	0,00	538,10	531,00	3.497,30
Sousa	290,40	40,79	0,00	395,34	0,00	94,66	366,77	1.187,96
Vila Real	0,00	53,11	0,00	530,59	14,91	147,05	173,19	918,85
TOTAL	1.939,38	563,47	85,45	7.463,60	263,66	2.131,40	2.123,57	14.570,53

En total, representan más de 14,57 MW de capacidad instalada. El tratamiento secundario representa aproximadamente la mitad de la capacidad total instalada. Los siguientes procesos con mayor capacidad instalada son la línea de tratamiento de lodos y el bombeo de la entrada.

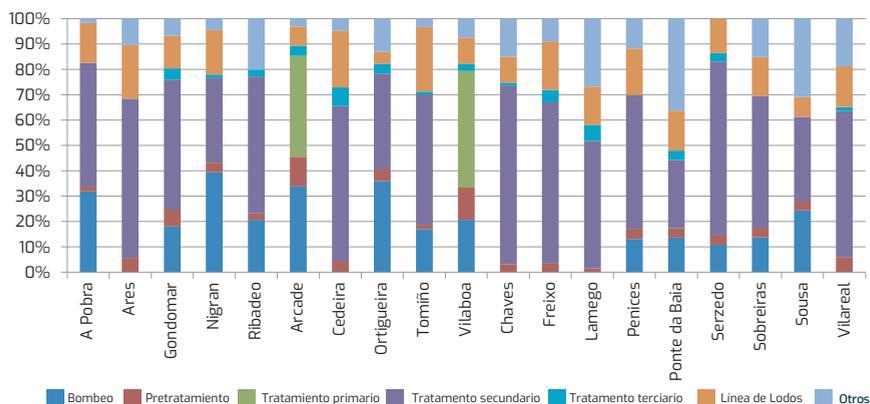


Figura 5: Distribución de la potencia instalada por proceso en % en las instalaciones auditadas

Desde el punto de vista de la potencia instalada en el equipo, se observa que los procesos de tratamiento biológico de residuos tienen el mayor porcentaje de la potencia instalada, y en una planta de tratamiento biológico, el tratamiento secundario representa el 51,5% de la potencia total instalada y, en el caso de las dos plantas de tratamiento físico-químico, se observa que el tratamiento primario, en el que es posible eliminar estos residuos mediante floculación, representa el 42,9% del total. Además, la distribución de la potencia instalada por las instalaciones mantiene un perfil muy similar, destacando también el importante consumo de bombas de entrada, cuando existen, por tratarse de una potencia instalada elevada.

Otros procesos, como la desinfección UV, tienen menos potencia instalada, pero tienen un alto consumo debido a su número de horas de funcionamiento.

Los principales procesos analizados en estas EDAR se presentan en los siguientes capítulos.

4.2. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.

Todas las instalaciones auditadas cuentan con sistemas de iluminación tanto en el interior de los edificios como en el exterior.

En la mayoría de los casos, las luminarias corresponden a los siguientes tipos:

- Iluminación interior de talleres: Las áreas de operación y control de la EDAR están compuestas principalmente por luminarias fluorescentes.
- Iluminación interior de zonas de proceso: lámparas estancas y lámparas de campana con tecnología fluorescente o de halogenuros metálicos.
- Exterior: focos de halogenuros metálicos y luminarias VSAP

En ninguna de las instalaciones se han observado sistemas de encendido o control de iluminación en los sistemas externos, teniendo generalmente encendido/apagado el reloj astronómico para iluminación externa.

El consumo energético en iluminación es responsable de una media del 2,04% del consumo total de la instalación.



Figura 6: a) Pantallas impermeables en la EDAR de Arcade
y b) Iluminación exterior en la EDAR de Tomiño

4.3. SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

Sólo las instalaciones más grandes, que cuentan con un número considerable de personal, disponen de sistemas de aire acondicionado como tales. En la mayoría de los casos, sólo se dispone de equipos eléctricos portátiles.

El consumo debido a estos equipos es prácticamente irrelevante, suponiendo en la mayoría de las plantas entre 0 y 0,8% del total. En promedio, el consumo en las 20 EDAR asociadas a la climatización es del 1,27% del total.



Figura 7: EDAR A Pobra a) Aire acondicionado y b) Calefacción

4.4. BOMBEO DE ENTRADA

El bombeo de entrada se instala cuando las condiciones de ubicación de la EDAR y la llegada del efluente requieren la recogida de agua bruta desde la entrada hasta el pretratamiento.

La potencia requerida en las bombas puede ser considerable, ya que además de bombear agua sucia, este tipo de equipo también necesita enfrentarse a una altura de elevación significativa en la mayoría de los casos.

De las 20 EDAR auditadas, 13 tenían bombeo en la entrada, 2 físico-químicas y 11 biológicas. La potencia instalada en estos casos es elevada, con una media de 149,18kW, lo que representa el 19,42% de la potencia total instalada en las instalaciones que disponen de bombeo.

El bombeo de entrada en estas 13 estaciones representa un consumo anual de 3.167.972 kWh, el 13,74% del consumo total anual.

La distribución de la potencia y el consumo en las instalaciones de bombeo de entrada es la siguiente:

Tabla 7. Distribución Potencia instalada (kW) y consumo (kWh/año) en EDAR con bombeo a la entrada.

	Bombeo	Pretrat	Trat. 1ª	Trat. 2ª	Trat. 3ª	Lodos	Otros
kW instalados	19,42%	3,84%	0,86%	45,95%	1,25%	13,88%	14,81%
kWh consumidos	13,74%	2,58%	0,77%	54,04%	3,01%	12,79%	13,07%

Como se ha indicado anteriormente, esta parte del proceso representa una parte importante de la potencia instalada y del consumo anual en las plantas de tratamiento por bombeo.



Figura 8: Bombeo de entrada EDAR A Pobra

4.5. PRETRATAMIENTO

Todas las EDAR auditadas registran el consumo en el pretratamiento. El pretratamiento elimina grandes sólidos, piedras y arena, aceites, grasas y en general todos los elementos inertes que causan gran desgaste en tuberías, bombas y otros equipos, reduciendo también el rendimiento de toda la instalación.

Las principales operaciones de pretratamiento son: Separación de sólidos grandes (tanque de materiales gruesos), proyección, desarenado, desengrase y prelavado.

En la mayoría de los casos, estos procesos se resuelven pasando las aguas residuales a través de un sistema de rejillas, rototamizadores y desengrasadores-desarenadores. Los principales consumos provendrán del movimiento de los rototamizadores y de los sistemas de inyección de aire para el desengrase.



Figura 9: Tamices Masko-Zoll. EDAR Arcade

La potencia instalada en el proceso de pretratamiento es baja, con una media de 23,78 kW, lo que representa el 3,87% de la potencia total instalada en las estaciones de las que se dispone de datos. En cuanto al consumo, representa el 3,82% del consumo total anual, unos 1.294.970 kWh.

4.6. TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario tiene un consumo significativo en las instalaciones físico-químicas, donde el material biológico es eliminado durante este proceso, mediante sistemas combinados de coagulación-floculación y flotación.

En estas instalaciones, el principal consumo se produce durante este tratamiento, debido principalmente al funcionamiento de las bombas de presión, que suministran aire a la mezcla durante la floculación.

Las dos plantas físico-químicas analizadas tienen un sistema de tratamiento muy similar, aunque Arcade trata más del doble del caudal, lo que se traduce en una potencia instalada y un consumo mucho mayor. Sin embargo, los porcentajes de distribución y consumo de energía son muy similares.

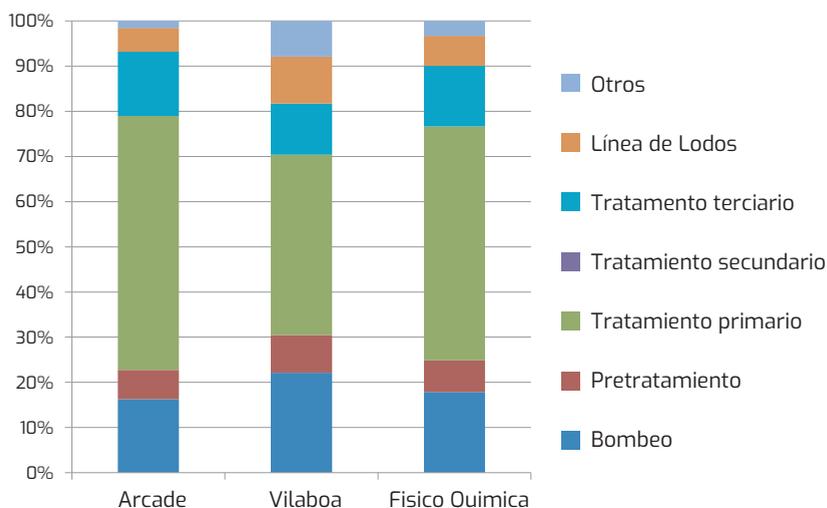


Figura 10: Distribución del consumo en kWh en las instalaciones físico-químicas auditadas

La distribución de la energía y el consumo en las instalaciones físico-químicas, con tratamiento primario, es la siguiente:

Tabla 8. Distribución de la potencia instalada (kW) y del consumo (kWh/año) en las plantas de tratamiento físico-químico

	Bombeo	Pretrat	Trat. 1ª	Trat. 2ª	Trat.3ª	Lodos	Otros
kW instalados	29,75%	12,02%	41,68%	0,00%	3,64%	8,37%	4,53%
kWh consumidos	17,87%	6,98%	51,76%	0,00%	13,42%	6,66%	3,31%

4.7. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Se han auditado dieciocho depuradoras biológicas, es decir, depuradoras en las que la eliminación de la materia orgánica se realiza mediante procesos biológicos en el tratamiento secundario.

El más común fue el **fangos activos** (14 EDAR), un proceso biológico que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano dispersado en forma de copo en un tanque agitado, ventilado y alimentado con agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en esta agua.

La agitación evita los sedimentos y homogeniza la mezcla de los copos bacterianos con las aguas residuales. El objetivo de la aireación es proporcionar el oxígeno necesario tanto para las bacterias presentes como para el resto de los microorganismos aeróbicos.

Los principales consumos en este caso provienen de los agitadores, responsables del movimiento de la mezcla, y de los soplantes, que proporcionan al agua el aire necesario para producir el proceso biológico.



Figura 11: a) Depósito, EDAR de Cedeira. b) Agitador, EDAR de Tomiño. c) Soplantes, EDAR de Nigrán.

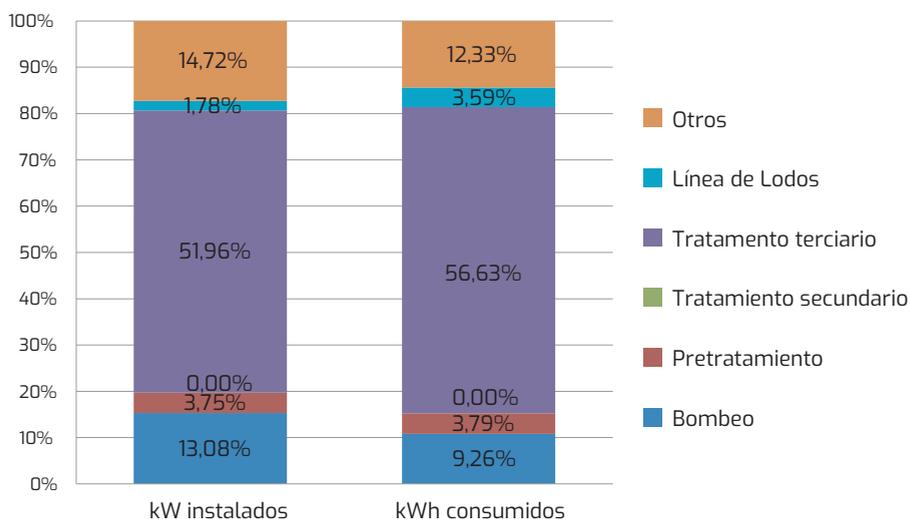


Figura 12: Distribución y consumo de P(kWh/año) en plantas de tratamiento biológico auditadas

4.8. TRATAMIENTO TERCIARIO

El tratamiento terciario complementa el tratamiento de aguas residuales y, por lo tanto, da lugar a la regeneración de las aguas residuales. Se utiliza principalmente cuando los vertidos se realizan a zonas sensibles, donde deben tener bajos niveles de nitrógeno y fósforo, entre otros compuestos que pueden provocar un aumento incontrolado de microorganismos.

De las 20 plantas auditadas, sólo 13 cuentan con algún tipo de sistema de tratamiento terciario, siendo el más común la desinfección por lámparas UV, combinada o no con otros procesos de eliminación de N y P.

El método principal para generar radiación ultravioleta es la luz de arco de mercurio de baja presión. Este método tiene la ventaja de que el 85% de la luz emitida es monocroma, con una longitud de onda de 253,7 nm. Para producir UV, la luz se carga por contacto con un arco eléctrico que produce la excitación del vapor contenido en la luz. Es en este proceso donde se produce la principal demanda de energía.



Figura 13: Desinfección UV. EDAR Nigrán

La potencia instalada en este proceso no es elevada, con un 3,12% del total. Pero al tratarse de equipos con un periodo de funcionamiento elevado, en muchos casos superior a las 12 horas/día, el consumo supone un porcentaje superior al total, 6,95%.

El peso del consumo energético en este proceso es mayor en las instalaciones físico-químicas (que representan el 13,42% del total) que en las instalaciones biológicas (3,59%).

La distribución de la energía y los consumos en las instalaciones con tratamiento terciario es la siguiente:

Tabla 9. Distribución Potencia instalada (kW) y consumo (kWh/año) en depuradoras auditadas con tratamiento terciario

	Bombeo	Pretrat	Trat. 1ª	Trat. 2ª	Trat.3ª	Lodos	Otros
kW instalados	11,13%	3,94%	1,01%	3,12%	14,63%	13,19%	11,13%
kWh consumidos	6,56%	4,94%	0,98%	59,54%	6,95%	9,05%	6,56%

4.9. LÍNEA DE LODOS

En este proceso se llevan a cabo acciones de tratamiento y secado de lodos, tanto de los lodos primarios depositados en los tanques de decantación primaria como de los lodos sobrantes producidos en el tratamiento biológico. Todas las EDAR disponen de sistemas de tratamiento y extracción de lodos.

El principal consumo de energía se produce durante las operaciones de secado de lodos, principalmente por medios mecánicos, como centrifugadoras o filtros de banda. En algunos casos, el sistema de desodorización está incluido en este proceso y también representa un porcentaje importante del consumo.



Figura 14: a) Centrifugadora, EDAR de Cedeira. b) Desodorización, EDAR de Ares.

En total, el tratamiento de lodos representa el 12,27% del consumo total de la planta.

4.10. GESTIÓN ENERGÉTICA

El consumo energético de las instalaciones no se monitoriza en tiempo real y no es posible monitorizar y analizar de forma continua el consumo energético desagregado de la instalación.

En este tipo de instalaciones, con un peso tan importante de la facturación eléctrica en los costes de explotación, se recomienda un sistema de monitorización en tiempo real, con el que es posible analizar, comparar y establecer relaciones entre los datos obtenidos, así como estudiar las desviaciones de consumo a lo largo de la vida de la instalación.

4.11. TOTAL DE PROCESOS

El principal consumo de la EDAR se produce durante el proceso de depuración, y el consumo debido a la iluminación y climatización no es representativo, representando un 2,38%. De los diferentes procesos de tratamiento, el principal consumo se produce en el tratamiento secundario (tratamiento primario, en el caso de las plantas de tratamiento físico-químico), debido al funcionamiento de soplantes y agitadores.

Tabla 10. Distribución de la potencia instalada (kW), el consumo (kWh/año) y las emisiones gaseosas por procesos en las EDAR auditadas.

	Potencia instalada kW	Consumo kWh/año	Emisiones Tn CO ₂ /año
Bombeo de entrada	1.939,38	3.167.972	1.235,54
Pretratamiento	563,47	1.294.970	505,05
Tratamiento 1º	85,45	176.699	68,90
Tratamiento 2º	7.463,60	18.993.326	7.407,59
Tratamiento 3º	263,66	1.250.187	487,59
Línea de lodos	2.131,40	4.158.696	1.621,93
Otros ¹	2.123,57	4.836.999	1.886,49
TOTAL	14.570,53	33.878.849	13.213,09

1 Incluye iluminación, aire acondicionado y equipos auxiliares de proceso

Para establecer la distribución de los consumos en una estación depuradora de aguas residuales, a partir del análisis realizado, se ha distinguido entre estaciones depuradoras físico-químicas y biológicas, obteniendo los siguientes resultados:

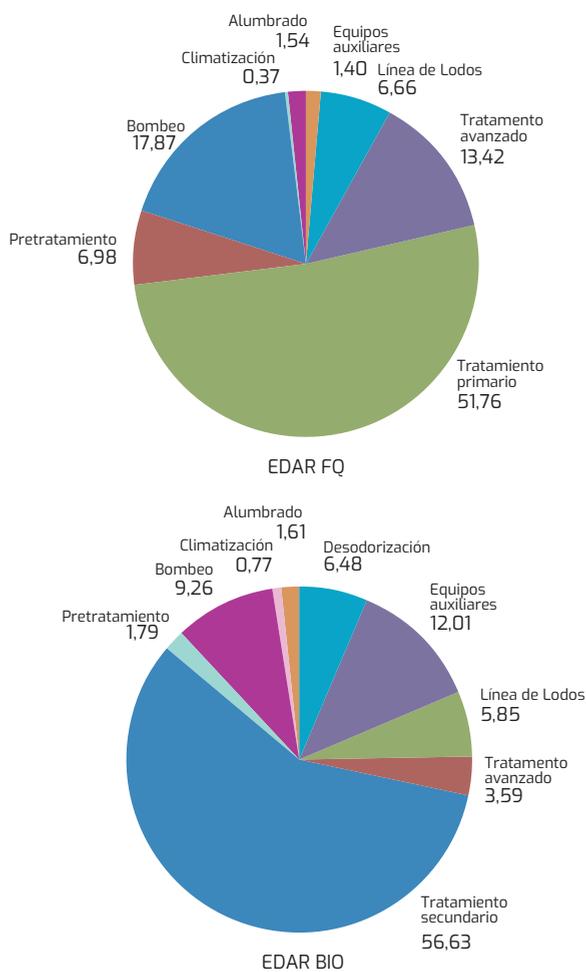


Figura 15: Perfil Energético de EDAR FQ - Físico-Química, BIO Biológica

5. MEDIDAS DE MEJORA PROPUESTAS

Las auditorías realizadas propusieron, a partir de la información recogida y analizada, diferentes medidas de mejora para optimizar el funcionamiento energético de las instalaciones.

Estas propuestas de mejora suponen una reducción significativa tanto del gasto económico como del consumo de energía, con la consiguiente reducción de las emisiones asociadas a las actividades de depuración de aguas residuales.

La mayoría de las mejoras propuestas pueden ser replicadas en otras EDAR de similares características, siempre tras la realización de un estudio individualizado y adaptado a las particularidades de cada caso.

Algunas de las medidas desarrolladas tienen un impacto directo en el ahorro de energía, especialmente en el uso de sistemas más eficientes. Sin embargo, también se proponen medidas relacionadas con la valorización energética de los residuos generados, que es uno de los principales retos a los que se enfrentan estas instalaciones y el ahorro puramente económico relacionado fundamentalmente con la correcta gestión de la facturación eléctrica.

Los ahorros propuestos se han establecido sobre la base de estrategias de cálculo, pero también sobre la base de estudios de casos exitosos. Dado que los estudios de caso de cada instalación son diferentes, la evaluación del ahorro obtenido en cada caso particular debe realizarse comparando el consumo antes y después de la aplicación de la medida. Para ello, es fundamental diseñar e implementar un sistema de medición y control correcto que afecte positivamente a la gestión de la estación.

Finalmente, se presentan los casos de referencia de las estaciones que han implementado con éxito las medidas descritas y cuya experiencia puede servir de guía en su desarrollo.

Muchos de los casos de referencia a los que aquí se hace referencia han sido implementados en el ámbito del proyecto AQUALITRANS en las EDAR de Galicia y Norte de Portugal (Sobreiras).

5.1. VARIADORES DE FRECUENCIA

5.1.1. USO DE VARIADORES DE FRECUENCIA

5.1.1.1. CONTEXTO

Los convertidores de frecuencia se pueden utilizar en una amplia gama de aplicaciones, siendo las más comunes aquellas en las que se requiere un funcionamiento a velocidad variable.

Gran parte de los motores acoplados a equipos industriales han sido diseñados para funcionar a velocidad constante, lo que no supone ningún problema cuando las condiciones de funcionamiento son constantes, pero en situaciones en las que se verifican condiciones variables, la eficiencia energética del sistema puede verse reducida.

En la EDAR existen equipos como bombas, ventiladores, soplantes, etc., que en ocasiones están diseñados para funcionar a velocidad constante, por lo que si es necesario variar su caudal, éste debe ajustarse mediante dispositivos de estrangulamiento, circuitos de bypass o paradas intermedias continuas.

Estos métodos aumentan las pérdidas de presión o consumen energía innecesaria, con el uso de un convertidor de frecuencia acoplado al motor se pueden evitar estas pérdidas. Además, en las plantas de tratamiento de aguas residuales, también es común que los motores funcionen a una velocidad superior a la necesaria para su correcto funcionamiento.

En ambos casos, se recomienda el uso de inversores para reducir el gasto energético.

La siguiente figura muestra gráficamente la energía requerida (azul) y la energía desperdiciada (roja) para diferentes estrategias de control para ajustar el caudal.

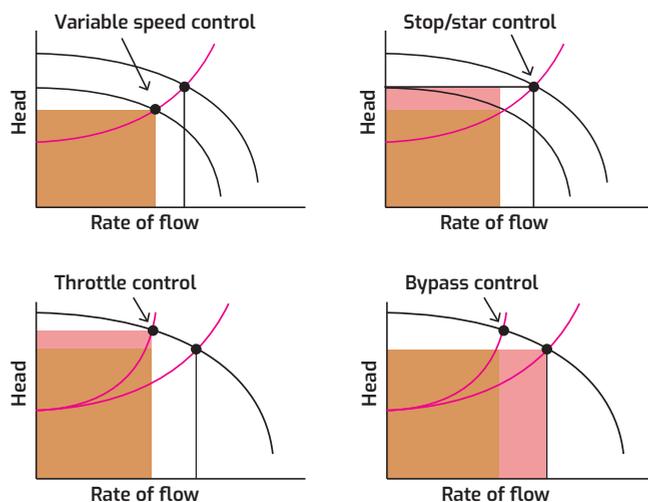


Figura 16: Estrategias de ajuste del caudal con convertidor de frecuencia, arranque/parada, estrangulación o bypass

5.1.1.2. OBJETIVO

La instalación de convertidores de frecuencia en motores donde el control de velocidad puede minimizar el consumo de energía.

5.1.1.3. PROCESOS Y EQUIPAMIENTOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Línea de lodos.

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los motores eléctricos con necesidad de control de velocidad de cualquiera de los procesos anteriores.

5.1.1.4. CASOS DE APLICACIÓN

Hay dos situaciones en las que esta medida puede aplicarse:

- a) Motores conectados a bombas o ventiladores cuyo caudal se controla mediante estrangulamiento, bypass o arranque/parada.
- b) Motores cuya velocidad pueda reducirse sin afectar a su funcionamiento.



Figura 17: Convertidores de frecuencia para la regulación del caudal de las bombas de recirculación de la EDAR de Ribadumia.

5.1.1.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

En los casos a que se refiere el punto anterior, será necesario conocer:

- Horas de funcionamiento del motor.
- Potencia nominal y factor de carga
- Parámetros hidráulicos
- Características del motor
- Características del accionamiento
- Precio de la electricidad y aumento anual

5.1.1.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden lograr ahorros de hasta el 50% implementando esta solución.

Para el cálculo del ahorro de energía, las leyes de similitud ayudan a predecir el comportamiento de una máquina.

De estas leyes se deduce que:

- Los caudales son directamente proporcionales a las velocidades angulares:

$$Q_f = Q_0 \left(\frac{n_f}{n_0} \right)$$

- Las alturas útiles son directamente proporcionales a los cuadrados de las velocidades angulares:

$$H_f = H_0 \left(\frac{n_f}{n_0} \right)^2$$

- Las potencias netas son directamente proporcionales a la función cúbica de las velocidades angulares:

$$P_f = P_0 \left(\frac{n_f}{n_0} \right)^3$$

El uso de convertidores de frecuencia para el control de caudal, en lugar de utilizar otras estrategias de funcionamiento como el control de válvulas de estrangulación, una técnica común en la industria, proporciona un ahorro de energía muy significativo y, por lo tanto, un ahorro económico muy importante.

La siguiente figura muestra un análisis de la energía ahorrada por una bomba que utiliza convertidores de frecuencia en lugar de un sistema de control de caudal que utiliza una válvula.

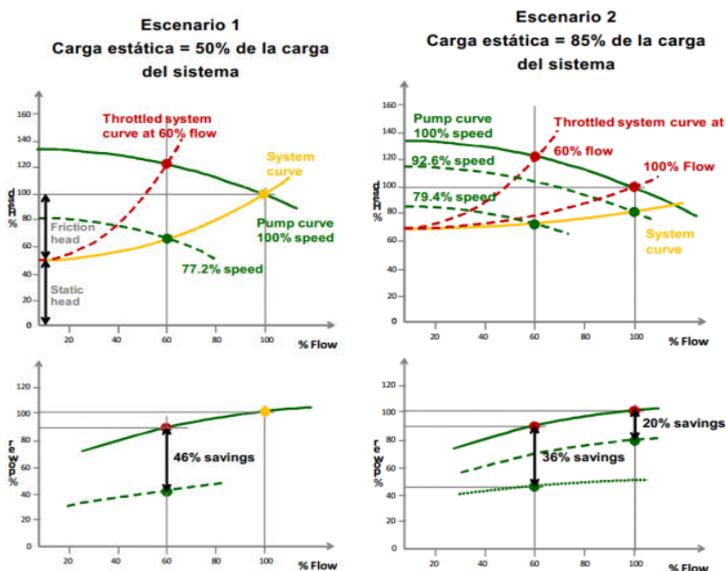


Figura 18: Ahorro de energía mediante el uso de variadores a diferentes presiones estáticas. Fuente de Schneider

5.1.1.7. CASOS PILOTO EN EL ÁMBITO DEL PROYECTO AQUALITRANS

En el marco del proyecto AQUALITRANS, en la EDAR de A Pobra do Caramiñal se implementaron convertidores de frecuencia en 2 de los 8 rotores de los reactores biológicos, equipos con una potencia de 30kW cada uno.

Junto con la instalación de los convertidores de frecuencia, se vació el desarenador-desengrasador, se habilitó un pequeño espacio interior para alojar los convertidores de frecuencia y se mejoraron las instalaciones eléctricas y los controles analógicos y digitales.

El PLC y el SCADA también fueron programados para incluir las nuevas señales digitales y analógicas y para registrar el consumo eléctrico de los rotores. Esta información también recibió una nueva forma de comunicación con el PLC a través de MODBUS.

Así, y manteniendo la potencia instalada de 240 kW asociada a los rotores de los reactores biológicos, durante el periodo considerado se constató que el consumo de aireación se redujo de 18.398 kWh a 14.052 kWh, lo que supone un ahorro del 24% de la energía consumida por los equipos en cuestión.



Figura 19. Convertidores de frecuencia colocados en la instalación.

También en el marco del proyecto AQUALITRANS, se colocaron convertidores de frecuencia en las 4 bombas de elevación de la EDAR de Sobreiras, situada en la ciudad de Oporto, junto con la medida de sustitución de estas mismas bombas de elevación.

Así, las bombas de elevación de efluentes fueron sustituidas por bombas de igual potencia, preparadas para funcionar con variación de velocidad y equipadas con el mismo número de variadores de velocidad para ajustar el punto de funcionamiento.

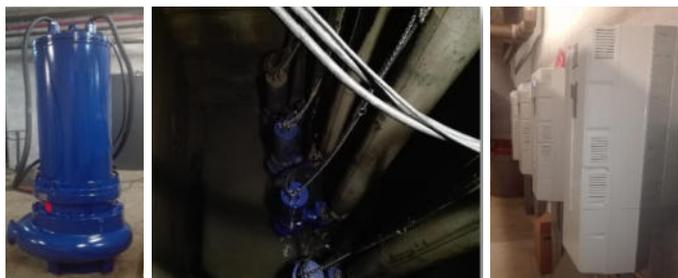


Figura 20. Bombas de elevación e inversores de frecuencia instalados.

La previsión de ahorro energético asociada a esta medida de instalación de convertidores de frecuencia en bombas de elevación, junto con la medida de sustitución de las propias bombas, apunta a una reducción de 452.076 kWh/año, equivalente a un ahorro económico de 45.424 €/año.

5.2. MOTORES ELÉCTRICOS

5.2.1. SUSTITUCIÓN POR MOTORES DE ALTO RENDIMIENTO

5.2.1.1. CONTEXTO

Una gran parte de los equipos de la planta utiliza motores para su funcionamiento. Bombas, ventiladores, circuladores, agitadores, etc. son equipos accionados por motores eléctricos, que funcionan de forma continua o casi continua en este tipo de plantas industriales.

CLASES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) ha publicado las normas IEC 60034-30 para armonizar las clases de eficiencia de los motores, estableciendo clases IE (International Efficiency) para motores de 0,75 a 375 kW.

La clasificación es la siguiente:

- IE1: eficiencia estándar (comparable con el antiguo EFF2).
- IE2: alta eficiencia (comparable con el antiguo EFF1).
- IE3: eficiencia superior.
- IE4: eficiencia super premium.

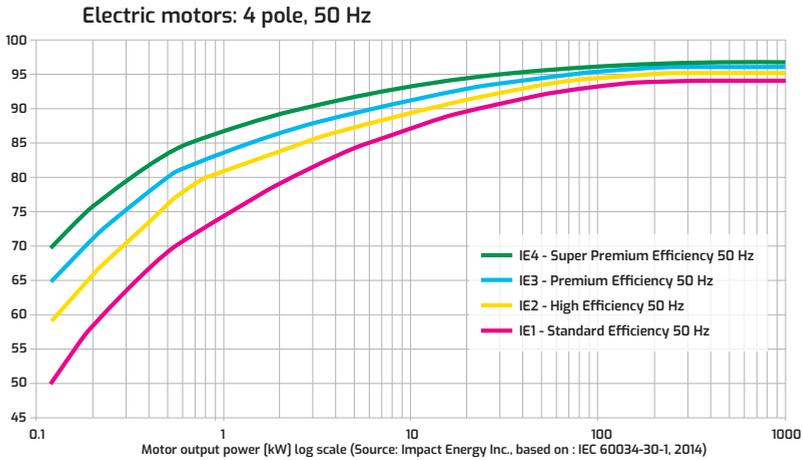


Figura 21: Eficiencia del motor en función de la potencia y la categoría. IEC 60034-30-1

La sustitución de motores por otros más eficientes reduce su consumo de energía y, debido al elevado número de horas/año de funcionamiento, esta reducción de costes compensa a menudo la inversión realizada. Desde el 01/01/2017 (según el Reglamento (CE) 640/2009), sólo los motores IE3 pueden instalarse con potencias de 0,75 a 375 kW o como alternativa a los motores IE2 accionados por convertidores de frecuencia.

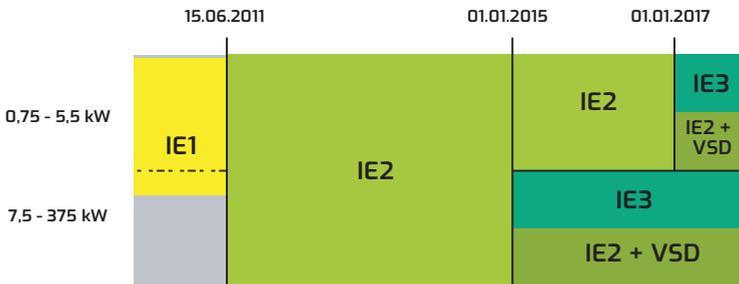


Figura 22: Clases de eficiencia de los nuevos motores que se instalarán de acuerdo con el Reglamento (CE) nº 640/2009

5.2.1.2. OBJETIVO

La sustitución de los motores por otros más eficientes en aquellos casos en que el ahorro proporcional justifique la inversión.

Para evaluar el rendimiento económico de la sustitución de un motor por otro, deben tenerse en cuenta los costes del ciclo de vida del motor, incluidos los costes de energía, mantenimiento e inversión.

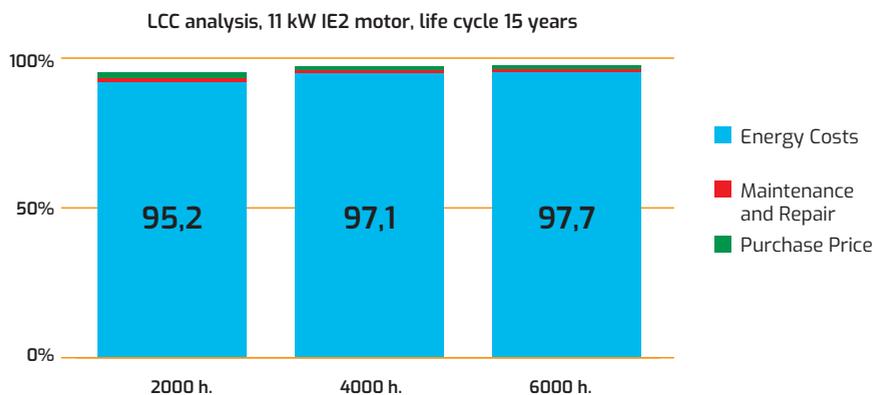


Figura 23: Análisis del coste del ciclo de vida. Fuente "Almeida, Ferreira, Fong & Fonseca, 2008).

Hay muchas razones para evaluar la sustitución de un motor: antigüedad, sobredimensionamiento, mal mantenimiento, etc. A la hora de evaluar la sustitución de un motor exclusivamente por otro de mayor eficiencia, las principales motivaciones a tener en cuenta a la hora de evaluar la necesidad de sustituir un motor son:

- **Sobredimensionamiento.** En muchos casos, más concretamente en las plantas de tratamiento con gran frecuencia, se utilizan criterios de robustez para el dimensionamiento de los equipos, que están directamente relacionados con el aumento de la ineficiencia energética debido a que el motor trabaja fuera de su velocidad nominal durante un gran número de horas. El rendimiento de un motor disminuye considerablemente cuando su carga es inferior al 50%.
- **Antigüedad.** Un motor viejo en funcionamiento sufre una pérdida de su rendimiento inicial, con el consiguiente aumento del consumo de energía. Normalmente, los motores antiguos realizan un mantenimiento que implica rebobinarlos. Se considera que después de 2 o 3 rebobinados la eficiencia de un motor puede disminuir en un 2%.
- **Eficiencia.** Tener en cuenta criterios para mejorar la eficiencia energética del motor.

5.2.1.3. PROCESOS Y EQUIPAMIENTOS AFECTADOS

La solución descrita se aplica a los siguientes procesos en la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Línea de lodos

5.2.1.4. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Para poder cuantificar el ahorro de forma fiable, es necesario disponer de profesionales cualificados y de equipos de medición precisos dirigidos al análisis de las prestaciones de un motor, condiciones que no son fáciles de encontrar.

Por esta razón, en muchos casos, la evaluación del rendimiento del motor existente debe llevarse a cabo sobre la base de datos estimados obtenidos de las placas de identificación, información del personal de mantenimiento sobre los rebobinados realizados e información de los fabricantes.

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son los siguientes

- Datos técnicos:
 - Potencia nominal del motor.
 - Vida útil.
 - Tensión y frecuencia.
 - Número de polos.
 - Eficiencia nominal.
- Datos de funcionamiento:
 - Perfil de carga.
 - Curva de rendimiento según el perfil de carga.
 - Horas de operación.
 - Número de rebobinados.
- Datos económicos.
 - Coste de la energía eléctrica.
 - Coste de mantenimiento.
 - Tasa de evolución de los precios de la energía.
 - Tasa de evolución del coste de mantenimiento.
 - Inversión inicial.

5.2.1.5. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden lograr ahorros de hasta un 12% implementando esta solución.

5.2.1.5.1. MÉTODO DE CÁLCULO

Para calcular el ahorro de energía (kWh) es necesario conocer la siguiente fórmula:

Ahorro energético (kWh) = Consumo actual (kWh) - Consumo futuro (kWh)

$$\text{Consumo actual} = \frac{P_{\text{actual}} * h * FC}{\eta_{\text{actual}}}$$

(a) Si se modifica la potencia del motor futuro:

$$\text{Consumo futuro} = \frac{P_{\text{propuesta}} * h * FC}{\eta_{\text{futuro}}}$$

(b) Si no se modifica la potencia del motor actual:

$$\text{Consumo futuro} = \text{consumo actual} * \frac{\eta_{\text{actual}}}{\eta_{\text{futuro}}}$$

siendo,

P: Potencia instalada del motor (kW)

h: Número de horas anuales de funcionamiento.

FC: Factor de carga (%).

η: Rendimiento do motor.

5.2.1.5.2. MEDIDAS EN CAMPO

Tabla 1. Equipos de medida recomendados

Equipos de medida	Parámetros medidos
Pinza amperimétrica	Medición de potencia y estimación de los parámetros restantes
Analizador de redes	Medición del consumo de corriente durante un período de tiempo limitado. Estimación para un período de un año
Equipamiento específico de medida motores	Medición de todos los parámetros de funcionamiento del motor (potencia, horas, factor de carga, rendimiento)

5.2.1.5.3. CASOS DE APLICACIÓN

En los siguientes casos se recomienda la sustitución por motores de alto rendimiento:

- Motores entre 0.7515 kW con clase de eficiencia IE1 y más de 4.000 h de operación.
- Motores de más de 15 kW con clase de eficiencia IE1 y más de 5.000 h de funcionamiento.
- Motores con clase de rendimiento IE2 y más de 8.000 h de funcionamiento.

Tabla 12. Tabla resumen de casos de aplicación de sustitución de motores

Gama de potencia de motores a evaluar	Clase de eficiencia del motor actual	Nº horas mínimas (h/año)
Motores entre 0,75 – 15 kW	IE1	4 000 h
Motores > 15kW	IE1	5 000h
Motores de todas las gamas de potencia	IE2	8 000h

Hay que tener en cuenta que en el caso de motores que no tienen variador de velocidad y su instalación es interesante, se recomienda priorizar la inversión de un variador de velocidad en lugar de un motor.

5.2.1.6. CASOS DE REFERENCIA

La EDAR de Arroyo Quiñones ha implementado en sus instalaciones motores de alta eficiencia tipo IE4, cuatro de ellos para el accionamiento de ventiladores de 160 kW, que proporcionan aire para procesos biológicos y otros procesos, y otros tres para ventiladores accionados por motores de 15 kW. Además, se utilizan otros cuatro motores para accionar las bombas de recirculación de lodos de 15 kW.

Otras EDAR que han implementado esta solución son, por ejemplo: EDAR de Altea y Pinedo.

5.2.2. SUSTITUCIÓN DE MOTORES AVERIADOS POR MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

5.2.2.1. CONTEXTO

Como se ha explicado en el punto anterior, un número significativo de equipos de la planta utiliza motores para su funcionamiento. Su sustitución

por motores más eficientes, supone una reducción del consumo energético de toda la planta y es habitual que la reducción de costes compense la diferencia en la inversión realizada.

Además, desde el 01/01/2017 (según el Reglamento (CE) 640/2009) sólo se pueden instalar motores IE3 en potencias de 0,75 a 375 kW o, alternativamente, motores IE2 accionados por variador de frecuencia.

Esta medida es muy similar a la anterior, con la diferencia de que, en el caso anterior, los cambios se proponían en cualquier momento del ciclo de vida del motor, y en este caso la sustitución se produce cuando se produce una avería en los motores que hace necesario su cambio.

5.2.2.2. OBJETIVO

La sustitución de los motores por otros más eficientes energéticamente al final de sus respectivos ciclos de vida.

A la hora de seleccionar un motor para sustituir a otro dañado, se debe valorar no sólo el coste de la inversión inicial, sino también los costes de mantenimiento y consumo a lo largo de su ciclo de vida.

Entre las ventajas de optar por un motor IE3 o superior, además de los ahorros derivados de un menor consumo, se encuentran:

- Reduciendo el aumento de la temperatura del motor. De esta forma se producen menos pérdidas, aumentando así su vida útil.
- Permite operar a velocidades intermitentes, con picos de carga superiores a los nominales.
- Tienen una mayor reserva de potencia para operar en ambientes con temperaturas superiores a 40°C y en zonas de mayor altitud.
- Son más adecuados para aplicaciones con convertidores de frecuencia.
- Coste de mantenimiento reducido.

5.2.2.3. PROCESOS Y EQUIPAMIENTOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Línea de lodos

5.2.2.4. CASOS DE APLICACIÓN

La diferencia de costes entre IE2, IE3 e IE4 es insignificante en comparación con la reducción de los costes energéticos que pueden suponer en estos casos. Una amortización atractiva (entre 0,5 y 2,5 años) se produce a partir de las 2.000 horas de funcionamiento cuando se instala un motor más eficiente, en los casos en que el motor tiene que ser sustituido por una parada. Para valores inferiores a 2000 horas de funcionamiento, se recomienda un análisis más profundo.

5.2.2.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Los datos que debe tener en cuenta para evaluar la medida son:

- Datos técnicos
 - Potencia nominal del motor
 - Vida útil
 - Tensión y frecuencia
 - Número de polos
 - Ingresos nominales
- Datos de funcionamiento
 - Perfil de carga
 - Curva de rendimiento en función del perfil de carga
 - Horas de funcionamiento
 - Número de rebobinados
- Datos económicos
 - Coste de la energía eléctrica
 - Coste de mantenimiento
 - Tasa de variación de los precios de la energía
 - Tasa de variación del coste de mantenimiento
 - Inversión inicial

5.2.2.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden conseguir ahorros de hasta un 10% implementando esta solución, dependiendo de las características de los motores sustituidos.

El cálculo del ahorro esperado se realizará de forma similar a la medida 2.2, aplicando la fórmula:

Ahorro actual (kWh) = Consumo actual (kWh) - Consumo futuro (kWh)

(a) Si se modifica la potencia del motor futuro:

$$\text{Consumo futuro} = \frac{P_{\text{Proposta}} * h * FC}{\eta_{\text{futuro}}}$$

(b) Si no se modifica la potencia del motor actual:

$$\text{Consumo futuro} = \text{consumo actual} * \frac{\eta_{\text{actual}}}{\eta_{\text{futuro}}}$$

siendo,

P: Potencia instalada del motor (kW)

h: Número de horas anuales de funcionamiento.

FC: Factor de carga (%).

η : Rendimiento del motor.

Por otra parte, para elegir entre varios motores, habrá que evaluar el rendimiento de cada motor y el consumo previsto en cada caso para determinar si la inversión realizada en un motor más eficiente se recupera en un plazo razonable.

Por ejemplo, comparando un motor de 4 polos de 90 kW según IEC-60034-30:

Tabla 2. Comparación entre motores de 90 kW

Categoría	Rendimiento Estándar	Horas funcionamiento	Consumo anual esperado kWh	Coste anual
IE2	94,20%	8.500	812.102	97.450 €
IE3	95,20%	8.500	803.571	96.428 €

Suponiendo un precio de la electricidad de 0,12 €/kWh, el ahorro anual será de 1022 €.

Teniendo en cuenta que las diferencias de precio entre ambos motores son del orden de 2000 €, la inversión se recuperará en aproximadamente dos años y en este caso la compra de un motor más eficiente estaría más que justificada.

En el caso de la reducción de las horas de trabajo del motor, se puede observar que si el mismo motor tuviera un horario de trabajo mucho más corto, 500 horas/año, el ahorro se reduciría a 60 €/año.

El período de retorno de la inversión superaría los 20 años.

5.2.2.7. CASOS DE REFERENCIA

Entre las EDAR que han implementado esta solución se encuentran:

- EDAR Altea
- EDAR Orihuela

5.2.3. SUSTITUCIÓN DE LOS MOTORES SOBREDIMENSIONADOS

5.2.3.1. CONTEXTO

Es común encontrar en la industria motores sobredimensionados para el trabajo que realizan. Durante la fase de diseño se tiende a sobredimensionar este equipo para dar versatilidad a futuras sobrecargas y reducir los riesgos de cálculo y selección, medidas que en muchos casos no están justificadas.

Los estudios actuales indican que al menos un tercio de los motores de la industria están sobredimensionados. Los motores que funcionan con factores de carga bajos muestran una disminución significativa de la eficiencia, que disminuye exponencialmente.

5.2.3.2. OBJETIVO

La sustitución de motores sobredimensionados, siempre que su sobredimensionamiento sea de magnitud suficiente para afectar a la eficiencia.

5.2.3.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Línea de lodos

El equipo afectado por esta medida de mejora son los motores eléctricos que requieren el control de la velocidad de cualquiera de los procesos anteriores.

5.2.3.4. CASOS DE APLICACIÓN

Al igual que en las propuestas anteriores, es necesario examinar la sustitución de los motores que funcionan más de 2.000 horas al año con una carga inferior al 50% de su potencia nominal.

Cuando estos motores están significativamente sobredimensionados, se recomienda reemplazarlos con motores de potencia adecuada y mayor eficiencia.

Cuando estos motores están moderadamente sobredimensionados, se recomienda reemplazarlos una vez que hayan dejado de funcionar.

5.2.3.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que debe tener en cuenta para realizar una evaluación de la medida son:

- Horas de funcionamiento
- Carga del motor
- Eficiencia del motor en carga operativa
- Características del motor
- RPM a carga máxima
- Tensión, corriente y factor de potencia
- Coste de la energía eléctrica

5.2.3.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden conseguir ahorros de hasta un 25% implementando esta solución, siempre en función de las características del motor sustituido y del nuevo. Los motores sobredimensionados trabajan en un punto en el que el rendimiento y el factor de carga no son óptimos. Por ejemplo, un motor de 100 kW que funciona con sólo el 25% de la carga, es decir, haciendo un trabajo de motor de 25 kW. La eficiencia del motor es de aproximadamente el 78% y su factor de potencia es de aproximadamente 0,05.

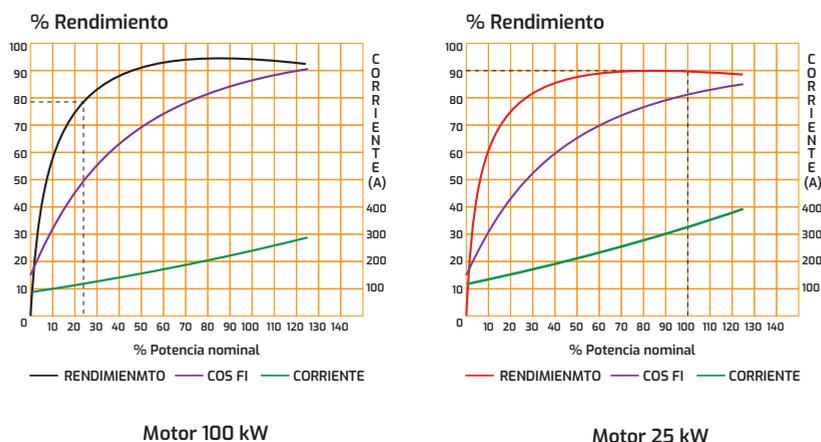


Figura 24: Curvas de eficiencia del motor de 100 kW frente a 25 kW. Fuente WEG

Si se asume que la curva apropiada del motor de 25 kW funciona al 100%, la eficiencia y el factor de potencia están en puntos optimizados, siendo 90,1% y 0,082 respectivamente.

Cálculo aproximado del consumo esperado por hora de trabajo para cada uno de ellos:

$$P_{100} = 100 \text{ kW} \times 0,25 / 0,78 = 32,05 \text{ kWh}$$

$$P_{25} = 25 \text{ kW} \times 1 / 0,901 = 27,75 \text{ kWh}$$

Esto supondría un ahorro de energía del 13,5%. Además, la mejora del factor de potencia reduce el consumo de energía reactiva de la central.

5.2.3.7. CASOS DE REFERENCIA

Entre las plantas de tratamiento que han implantado esta solución se encuentra, por ejemplo, la EDAR de Murcia.

5.3. BOMBAS

5.3.1. SUSTITUCIÓN DE BOMBAS SOBREDIMENSIONADAS

5.3.1.1. CONTEXTO

Los sistemas de bombeo suelen ser demasiado grandes para el caudal y la altura requeridos.

Durante la fase de diseño, los equipos de la instalación tienden a ser sobredimensionados con el fin de proporcionar versatilidad para futuras sobrecargas, reducir los riesgos en el cálculo y selección, así como proporcionar mayor robustez al sistema. Esta situación presupone que las bombas funcionan normalmente en los puntos de funcionamiento óptimos.

5.3.1.2. OBJETIVO

Adaptar el equipo de bombeo a las condiciones requeridas para trabajar en los puntos de funcionamiento óptimos.

5.3.1.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable a las estaciones de bombeo de varios procesos de la EDAR

El equipo afectado por esta medida de mejora son las bombas.

5.3.1.4. CASOS DE APLICACIÓN

En las EDAR con alto consumo por agua de bombeo y lodos o por sobredimensionamiento de los equipos.

El uso de convertidores de frecuencia es una opción a considerar, en caso de que el perfil de flujo requerido sea variable, de lo contrario la sustitución de la bomba es una opción a analizar.

5.3.1.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Perfil de flujo requerido
- Perfil de presión
- Horas de funcionamiento anuales.

5.3.1.6. AHORROS DE ENERGÍA

Con la implementación de esta solución se pueden conseguir ahorros de hasta un 30%.

Todas las bombas deben funcionar dentro de las especificaciones de la bomba en cuestión (generalmente definidas en el manual de instrucciones y en la hoja de datos proporcionada por el fabricante de la bomba). El rendimiento de la bomba varía en función de sus parámetros de funcionamiento. Las bombas están diseñadas para funcionar de forma óptima en el punto de máxima eficiencia (BEP), sin embargo, fuera de este punto óptimo, la eficiencia se pierde rápidamente y la eficiencia es baja.

El punto de trabajo de una bomba debe estar lo más cerca posible del BEP. Como referencia, se establecen los siguientes rangos de trabajo para una bomba:

- Rango permitido: caudal entre el 20 y el 150% del caudal nominal
- Rango adecuado: caudal entre el 66 y el 115% del caudal nominal
- Rango óptimo: caudal entre el 85 y el 105% del caudal nominal

En una bomba que funciona a un 40% por debajo de su punto óptimo, se observa que el rendimiento de este equipo ha disminuido aproximadamente a la mitad:

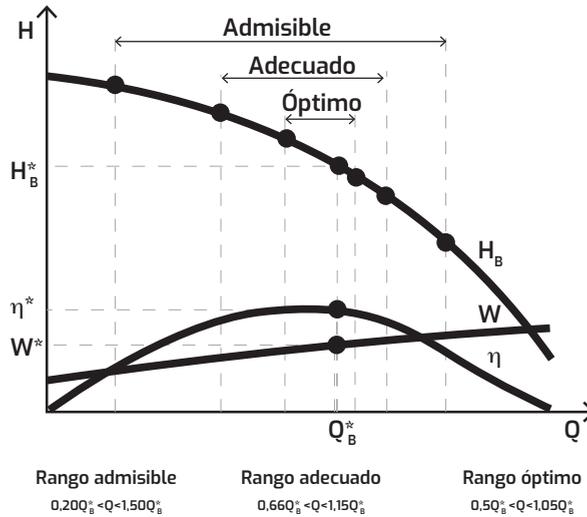


Figura 25: Gamas de funcionamiento de una bomba. Fuente IDAE

Dado que el consumo de energía de una bomba viene dado por:

En el caso de sustitución por una bomba más ajustada y de mayor rendimiento, la disminución del consumo (kWh) vendrá dada por la diferencia entre el rendimiento actual de los requisitos/actualidad y el rendimiento actual de los requisitos/nuevo rendimiento.

Además de reducir la eficiencia de la bomba, que proporciona un sobre-coste de energía, el funcionamiento a niveles alejados del “BEP” acelera el desgaste y empeora la fiabilidad.

Por ejemplo, el 60% de la operación BEP representa:

- Una reducción del 50% en la vida de las articulaciones
- Una reducción del 20% en la vida útil de los rodamientos
- Una reducción del 25% en la vida útil del impulsor y del cuerpo de la bomba
- Un aumento aproximado del 100% en los costes de mantenimiento

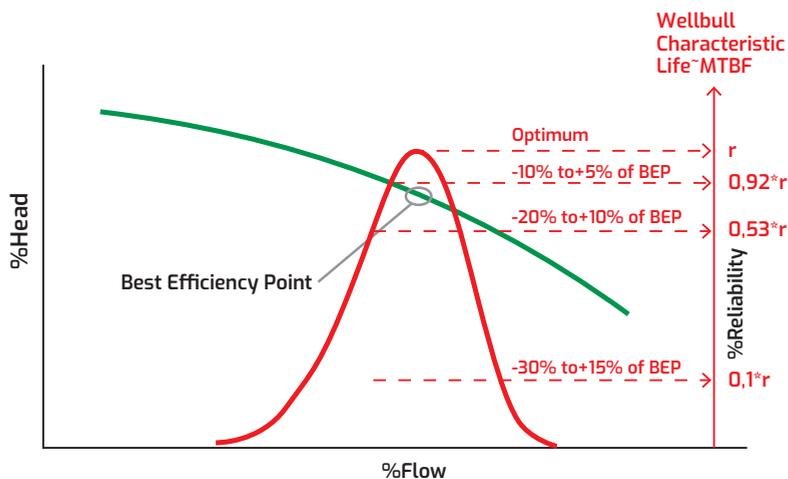


Figura 26: Influencia de la distancia BEP en la fiabilidad de la bomba. Fuente: Schneider

5.3.1.7. CASOS DE REFERENCIA

La siguiente figura muestra la eficiencia de una bomba de agua bruta de una EDAR (35 kW) y la de un equipo de menor potencia instalado posteriormente (13,5 kW). Existe una diferencia significativa de rendimiento entre ambos equipos en el rango de caudales seleccionados por la exploración (200-240 m³/h), lo que hace que la amortización de la inversión realizada en la adquisición de los nuevos equipos sea rápida.

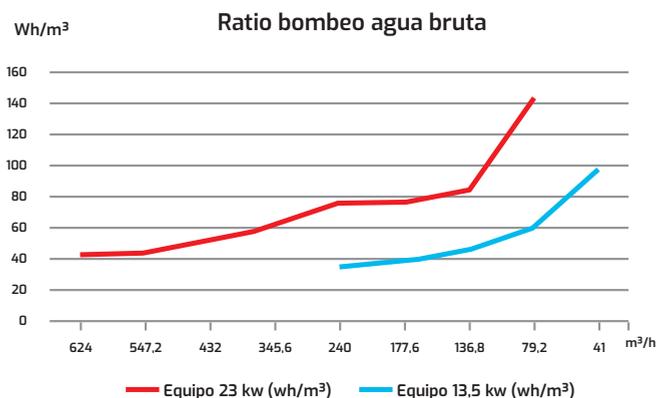


Figura 27: Rendimiento de 2 bombas en función del caudal cargado

La figura anterior muestra que para bombear 1 m³ de agua, la bomba de 35 kW necesita 78Wh, mientras que la de 13,5 kW sólo necesita 38Wh, la mitad de la energía para obtener el mismo resultado.

5.3.1.8. CASOS PILOTO EN EL MARCO DEL PROYECTO AQUALITRANS

Dentro del proyecto AQUALITRANS, se tomaron dos medidas para reemplazar las bombas de elevación.

En el caso de la EDAR de Gondomar, las 3 bombas de 22 kW fueron sustituidas por 2 bombas de 17,4 kW y 1 bomba de 16 kW, a las que se asociaron tres arrancadores suaves. Su reemplazo también significó su programación a los sistemas PLC y SCADA. Se espera que, considerando la reducción media de potencia de 36,72 kW a 15,59 kW, el consumo anual de las bombas se reduzca de 191.726 kWh a 174.471 kWh, lo que supone un ahorro del 9% respecto al consumo de los equipos. Sin embargo, todavía no hay resultados cuantitativos que demuestren el ahorro real.



Figura 28. Bombas de elevación instaladas en la EDAR de Gondomar

En el caso de Sobreiras, además de la instalación de convertidores de frecuencia, se sustituyeron las 4 bombas de elevación existentes, aunque se mantuvo la potencia instalada.

La previsión de ahorro energético asociada a esta medida de instalación de convertidores de frecuencia en bombas de elevación, junto con la medida de sustitución de las propias bombas, apunta a una reducción de 452.076 kWh/año, equivalente a un ahorro económico de 45.424 €/año.

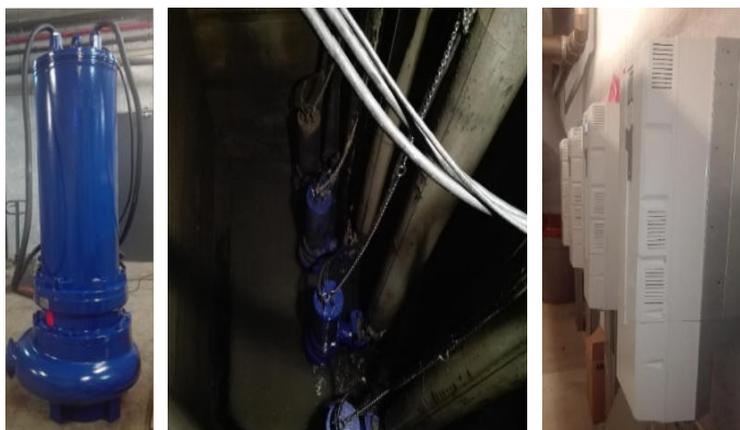


Figura 29. Sustitución de las bombas de elevación en la planta de Sobreiras.

5.4. PROCESOS DE AIREACIÓN

5.4.1. IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE AIREACIÓN POR DIFUSIÓN

5.4.1.1. CONTEXTO

El suministro de aire es un proceso crítico en el tratamiento de aguas residuales. Los sistemas de aireación de una EDAR consumen entre el 25 y el 70% de la energía de una EDAR.

Los sistemas de aireación más utilizados son los sistemas de superficie y difusión. Mientras que el aire de superficie se disuelve en el agua mediante equipos parcialmente sumergidos que agitan las aguas residuales, el aire de difusión se inyecta en la parte inferior del tanque de aireación para formar burbujas que ayudan a difundir el aire en las aguas residuales y romper la estratificación de la columna de agua.

Los sistemas de superficie implican una menor inversión y tienen menores costos de mantenimiento, costos de difusión, son los más eficientes energéticamente y tienen menores costos de operación. Las relaciones de consumo de energía se sitúan generalmente entre 1,8-2,0 kgO₂/kWh para los sistemas de superficie y entre 3-5 kgO₂/kWh para los sistemas de difusión.

5.4.1.2. OBJETIVO

Sustitución de la tecnología de aireación de superficies por la tecnología de aireación por difusión para mejorar la eficiencia de la aireación.

5.4.1.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable al tratamiento secundario de la EDAR:

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los sistemas de aireación.

5.4.1.4. CASOS DE APLICACIÓN

Debido a la reducción de los costes de explotación (principalmente debido a la reducción del consumo de energía) que presentan los sistemas de difusión y al aumento de los costes de mantenimiento e inversión que ello implica, la medida producirá ahorros más significativos cuanto mayor sea el consumo de energía del sistema de aireación.

5.4.1.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

El objetivo principal de todo el sistema de aireación es transferir oxígeno a la mezcla de lodos y que este oxígeno disuelto pueda ser utilizado por diferentes microorganismos. Existen numerosas variables del sistema de aireación que afectan el rendimiento de esta transferencia de oxígeno. Los datos a tener en cuenta en la evaluación de la medición son:

- Tipo de aireación de la superficie implementada
- Tipo de difusor propuesto
- Número de difusores
- Presión disponible
- Profundidad del tanque
- Área del tanque
- Coste de la energía eléctrica

5.4.1.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden lograr ahorros de hasta el 50% implementando esta solución.

Una forma breve para hacer una evaluación rápida de los ahorros logrados es utilizar los coeficientes de transferencia de eficiencia de oxígeno estándar de un aireador, ampliamente acordados para cada tecnología.

Para ello, es necesario establecer la Tasa de Transferencia de Oxígeno Estándar (SOTR): cantidad de oxígeno transferido por un aireador en una hora y en agua limpia a 20°C con 0 mgO₂/l (expresado en kg/hora) proporcionado por el fabricante del equipo. A continuación, se establece la Eficiencia Estándar del Aireador (SAE): SOTR dividido por la potencia del aireador (expresada en kg de oxígeno por kWh).

La siguiente tabla puede ser tomada como una referencia aproximada para los niveles de ahorro de energía esperados. El cálculo del ahorro real se realizará mediante sondas de transferencia de O₂.

Tabla 3. Comparación SAE/Tecnología. *ASCE WEF Manual of practice 8: Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*

Tipo de aireador	SAE kg O ₂ /kWh
Aireadores de chorro	0,8-1,5
Aireadores mecánicos	0,9-2,2
Burbuja gruesa	0,5-2,0
Burbuja fina (tipo tubular)	2,0-4,0
Burbuja fina (tipo disco de alta densidad)	4,0-6,0

De acuerdo con la tabla anterior, en caso de requisitos operativos iguales, el ahorro aproximado dependerá del sistema que se vaya a sustituir y del sistema seleccionado.

En el caso de sustituir un sistema de aireadores mecánicos por un sistema de difusión de burbujas finas del tipo tubular, la diferencia de energía (kWh) necesaria para proporcionar 1 kg de O₂ puede ser de hasta 0,86 kWh/kg, dependiendo de los rendimientos inicial y final. Suponiendo un precio de la electricidad de 0,12 €/kWh, estamos hablando de una diferencia de coste de 10,3 Cent€/kgO₂.

5.4.1.7. CASOS DE REFERENCIA

Recientemente se ha ampliado y remodelado la EDAR de Estepona-Málaga para aumentar su capacidad de tratamiento a 100.000 m³/día, lo que representa una población equivalente de 5.000.000 h.e. La oxigenación en las instalaciones existentes se ha llevado a cabo mediante rotores de superficie, 4 por cada 6 m de longitud de reactor. En la nueva línea de tratamiento, la oxigenación se realiza mediante turbocompresores y difusores de burbujas finas.

Otra planta que ha implementado esta solución es, por ejemplo, la EDAR de Bens.

5.4.2. SUSTITUCIÓN DE LOS DIFUSORES POR DIFUSORES DE ALTO RENDIMIENTO

5.4.2.1. CONTEXTO

Uno de los sistemas más extendidos para la aireación de reactores es el sistema de aireación por difusor. La aplicación de difusores de menor tamaño de burbuja supone un aumento de la capacidad de disolver el oxígeno en el agua, para tener una mayor superficie efectiva y, por tanto, una mayor eficiencia. La escasa eficiencia de la difusión del aire genera un mayor consumo de energía.

Los difusores se clasifican según el diámetro de la burbuja que generan:

- Burbuja gruesa (6 mm)
- Burbuja fina (3 mm)
- Burbuja muy fina (1 mm)

Es importante tener en cuenta que el tipo de difusor influye en la frecuencia de limpieza y la presión necesaria para impulsar el aire, los tamaños de poros pequeños implican una mayor tendencia al ensuciamiento.

Por lo tanto, se recomienda el uso de difusores de burbujas gruesas en aplicaciones más exigentes, como lodos y aguas residuales industriales.

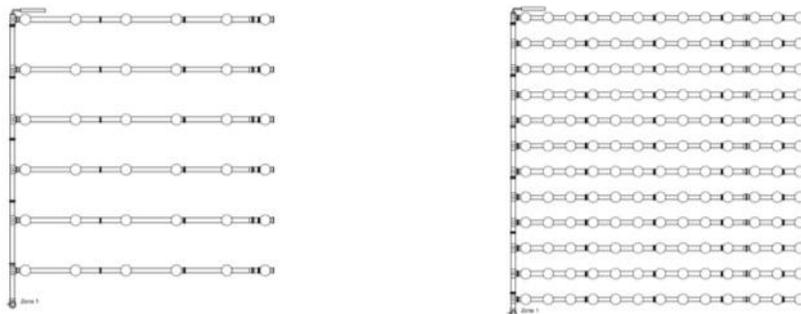


Figura 30: Difusores de burbujas gruesas frente a burbujas finas. Fuente Xylem

5.4.2.2. OBJETIVO

La sustitución de las membranas difusoras por membranas de burbuja más delgadas, que generan más SOTE (Standard Oxygen Transfer Efficiency) y por lo tanto requieren menos flujo de aire.

5.4.2.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento Secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los difusores.

5.4.2.4. CASOS DE APLICACIÓN

Al tratarse de sustituir el sistema de difusión existente por otros más eficientes, se trata de una mejora orientada a las EDAR con difusores de burbujas gruesas con agitación separada de los procesos de aireación.

5.4.2.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de esta medida son:

- Tipo de difusor
- Tamaño de burbuja generado
- Número de difusores
- Presión disponible
- Profundidad del tanque
- Área del tanque

5.4.2.6. AHORRO DE ENERGÍA

Con la implementación de esta solución se pueden conseguir ahorros de hasta un 30%.

Para entender por qué se consigue este ahorro, se analizará uno de los parámetros utilizados para establecer la eficiencia de un difusor: la Eficiencia Estándar de Transferencia de Oxígeno, SOTE (condiciones estándar a 20°C y 1 atm de presión).

Las curvas SOTE son suministradas por los fabricantes. Los difusores con un SOTE más grande serán más eficientes, requiriendo menos flujo de aire y menos energía para lograr la misma transferencia de oxígeno, para las mismas condiciones de temperatura y presión.

En el caso de los difusores de burbujas, su tamaño es uno de los factores más importantes para la eficiencia del sistema. Cuanto más pequeñas sean

las burbujas, mayor será la superficie de contacto por volumen de aire y mayor será la transferencia de O_2 .

Además, su velocidad de ascenso será menor, lo que llevará a un tiempo de contacto más largo y, por lo tanto, mejorará la transferencia. Por lo tanto, un sistema de burbujas finas requiere menos suministro de aire, tiene un SOTE más grande y requiere menos trabajo de los compresores para lograr la misma transferencia de O_2 que un sistema de burbujas gruesas.

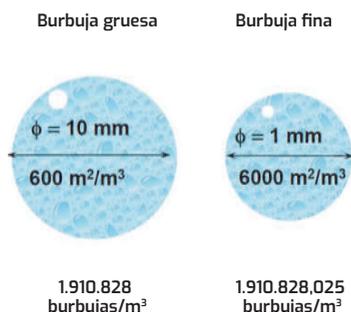


Figura 31: Tamaño de la burbuja gruesa vs fina. Fuente Xylem

Para analizar el ahorro energético que se espera del uso de la burbuja fina, podemos comparar las dos soluciones comerciales, procedentes de la misma empresa:

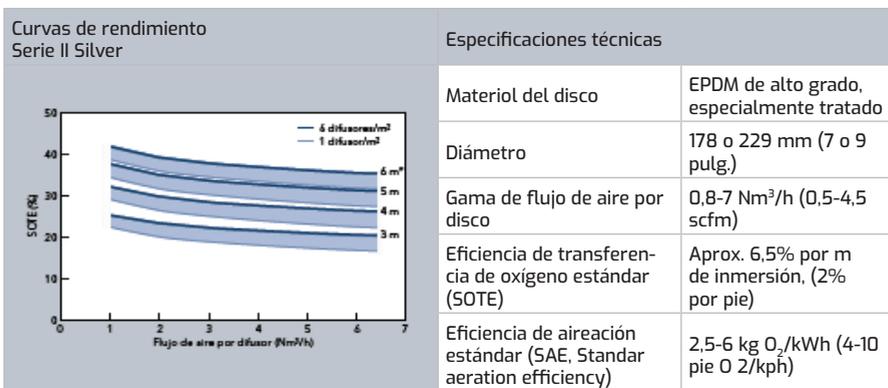


Figura 32: Características técnicas de los difusores de burbujas finas. Fuente Xylem

	Especificaciones técnicas	
	Material	Acero inoxidable AISi 304 o 316
	Longitud	305 o 610 mm (12 o 24 pulg.)
	Gama de flujo de aire por banda	15-63 Nm ³ /h (10-40 scfm)
	Eficiencia de transferencia de oxígeno estándar (SOTE)	1,6-2,5% por m de inmersión (0,5-0,8% por pie)
Eficiencia de aireación estándar (SAE)	0,7-2 kg O ₂ /kWh (1,1-3,5 lib. O ₂ /kph)	

Figura 33: Características técnicas de los difusores de burbuja gruesa. Fuente Xylem

El SOTE en el caso de los difusores de burbuja fina es del 6,5% por metro de inmersión, mientras que en el caso de la burbuja gruesa es inferior al 2,5% por metro de inmersión.

Por otro lado, el SAE de los difusores de burbujas finas es de 2,5-6,0 kg O₂/kWh en contraste con los 0,7-2,0 kg O₂/kWh de burbujas gruesas. Es lo mismo que decir que en el mejor de los casos se necesitarían 0,5 kWh para obtener 1 kg de O₂ con el sistema de burbuja gruesa, y 0,167 kWh con un sistema más eficiente de burbuja fina.

Un aspecto que también debe tenerse en cuenta al evaluar el sistema seleccionado es el costo de instalación y operación/mantenimiento. Los sistemas de burbujas gruesas requieren una inversión inicial menor, ya que requieren menos difusores, sin embargo, tienen un SOTE más bajo y requieren un flujo de aire más alto.

La comparación de los valores SOTE dados por los fabricantes permitirá una comparación entre difusores de diferentes fabricantes para las mismas condiciones estándar. Sin embargo, la eficiencia real del sistema biológico dependerá de las características particulares de diseño.

5.4.2.7. CASO PILOTO DEL PROYECTO AQUALITRANS

En el marco del proyecto AQUALITRANS, los aireadores de pretratamiento fueron sustituidos por aireadores con tecnología de difusión de burbujas finas en la EDAR de A Pobra do Caramiñal.

Como tal, después de vaciar el tanque del desarenador-desengrasador, los aireadores originales (3x2,2 kW) fueron reemplazados por nuevos aireadores (3x1,5 kW).

Con los nuevos aireadores de burbuja fina, se espera una reducción anual del consumo de energía de 73.365 kWh a 44.165 kWh, es decir, un ahorro del 40% en comparación con el consumo original.



Figura 34. Aireadores sustituidos y los nuevos aireadores de burbujas finas, colocados en el tanque de pretratamiento.

5.4.3. LIMPIEZA DEL CIRCUITO DE AIREACIÓN

5.4.3.1. CONTEXTO

La reducción de la pérdida de presión en el circuito de aireación implica la reducción de la energía necesaria para la correcta oxigenación del reactor. Es un circuito por el que circula una cantidad muy significativa de aire y, de forma continua, por lo que cualquier aumento de la eficiencia de este proceso tendrá un impacto significativo en la factura energética.

La acumulación de materia orgánica e inorgánica en la superficie de los difusores puede obstruir sus poros, lo que provoca un aumento de las pérdidas de presión en el difusor y afecta negativamente a la eficiencia de la transferencia de oxígeno en la instalación. Para compensar esta situación, se produce un aumento del número de horas de funcionamiento de los equipos de aireación y, en consecuencia, un aumento del consumo de energía.

Por otro lado, las tuberías que transportan el aire a los difusores pueden llenarse parcialmente con lodos, lo que produce el mismo efecto descrito anteriormente. Ambas situaciones pueden representar un aumento significativo de los costes de explotación de la instalación.

Para evitar un aumento del consumo de energía y otros efectos adversos, se debe elaborar un plan de limpieza de los elementos del sistema de aireación, que incluya acciones de mantenimiento preventivo, como la limpieza periódica aumentando el caudal de aire por difusor o la limpieza mecánica sin desmontar el difusor, como la inyección de ácido limpiador en las tuberías de distribución de aire para limpiar los poros.

5.4.3.2. OBJETIVO

La limpieza química/mecánica de los difusores y del circuito de aireación del reactor biológico con el objetivo de minimizar las pérdidas de presión, lo que supondrá una reducción del consumo energético de los compresores.

5.4.3.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable al tratamiento secundario de la EDAR:

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los difusores y el circuito de aireación.

5.4.3.4. CASOS DE APLICACIÓN

Cada EDAR presenta un caso muy particular, debido al tipo de agua que trata y al tipo de sistema de aireación implementado. En cualquier caso, se recomienda realizar una limpieza en aquellas EDAR que tengan al menos un año de funcionamiento y evaluar la variación de la presión de salida de los compresores o su consumo energético antes y después de la operación de limpieza.

5.4.3.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

En los casos de disponer de datos históricos de consumo del compresor o de la presión de salida, será interesante analizar estos datos, ya que su aumento puede deberse a un aumento de la pérdida de presión relacionada con la suciedad en el circuito o en los difusores.

5.4.3.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden conseguir ahorros de hasta el 12% si se aplica esta medida.

La mejora de las condiciones de difusión siempre supondrá un ahorro, pero la evaluación de los ahorros obtenidos en cada caso concreto requiere una metodología de medición antes y después de la limpieza. Tomando como referencia los resultados obtenidos en los estudios reales realizados, el ahorro puede ser aún mayor.

En este estudio se han realizado mediciones de transferencia de oxígeno entre 2013 y 2015 en sistemas de aireación de la región de Murcia con difusores de burbujas finas. La limpieza se realizó con ácido fórmico, para eliminar la cal en las tuberías y difusores debido a la dureza del agua en la

región, y se estableció el porcentaje de transferencia antes y después de la limpieza y después de un mes.

Los resultados muestran una clara mejora en la transferencia realizada:

Tabla 15. Variación en la transferencia de oxígeno mediante la limpieza química de los difusores

EDAR	Años difusores	Situación	Oxígeno transferido (%)
EDAR 1	6	Antes de la limpieza química	29,8
		Después de la limpieza química	37,6
		Variación	26,1
EDAR 2	10	Antes de la limpieza química	19,4
		Después de la limpieza química	24,7
		Variación	27,2
EDAR 3	0,5	Antes de la limpieza química	19,8
		Después de la limpieza química (con sustitución parcial de los difusores)	34,7
		Variación	75,6

El mayor incremento en la transferencia de oxígeno después de la limpieza química de los difusores se observó en la EDAR 3; sin embargo, en este caso, la limpieza química y la sustitución parcial de los difusores se llevaron a cabo simultáneamente.

Analizando los resultados de las EDAR 1 y 2, en las que sólo se ha realizado una limpieza, se observa una mejora en la transferencia de oxígeno de más del 25%. Esta mejora en la transferencia significa que, para obtener el mismo SOTE, los compresores necesitan trabajar menos, consiguiendo así un ahorro energético. El ahorro final dependerá de la eficiencia del sistema de compresores.

Ante estos resultados, se considera imprescindible elaborar un plan de limpieza y controlar la eficiencia del sistema antes y después de la limpieza, con el fin de establecer correctamente los ahorros conseguidos.

5.4.3.7. CASOS PILOTO EN EL ÁMBITO DEL PROYECTO AQUALITRANS

Como parte del proyecto AQUALITRANS, se aplicó un proceso de limpieza de difusores y circuitos de aireación en la EDAR de Nigrán, mediante la aplicación de una solución de ácido fórmico al 80-90%. Se estima que el ahorro de energía asociado a esta medida es de alrededor del 3% del consumo anual, sin embargo, todavía no hay resultados cuantitativos relacionados con esta medida.



Figura 35. Aplicación de ácido fórmico en el circuito de aireación de la EDAR de Nigrán.

5.4.4. SUSTITUCIÓN DE LOS DIFUSORES DEFECTUOSOS O DE LOS DIFUSORES CON PÉRDIDA DE POTENCIA

5.4.4.1. CONTEXTO

Todas las membranas, con el paso del tiempo, aumentan las pérdidas de presión. Esto se debe principalmente a que se trata de elementos elásticos que pierden esta elasticidad con el uso, provocando burbujas cada vez más gruesas.

Aunque inicialmente estas pérdidas pueden reducirse con una limpieza específica, se llega a un punto en el que el desgaste de la membrana es irreversible. Con este desgaste se reduce el rendimiento y se aumenta el consumo de energía.

Después de 10 años, el desgaste es considerable, aunque es un factor que depende del tipo de agua a tratar, por lo que es necesario comprobar periódicamente su estado.

5.4.4.2. OBJETIVO

La sustitución de los difusores dañados cuya pérdida de eficiencia produce una reducción de SOTE.

5.4.4.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable al tratamiento secundario de la EDAR:

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los difusores.

5.4.4.4. CASOS DE APLICACIÓN

Esta medida se recomienda para plantas de tratamiento con difusores que hayan estado en funcionamiento durante más de 10 años o en situaciones en las que se encuentren dañadas las membranas.

Tabla 16. Mediciones de transferencia de oxígeno a diferentes velocidades de aireación

EDAR	Equipos de aireación y potencia	Años difusores	Transferencia de oxígeno (%)	
			Caudal máximo	Caudal mínimo
EDAR 1	Émbolos-200kW	6	22,03	34,03
EDAR 2	Émbolos-95kW	10	18,77	20,01
EDAR 3	Émbolos-140kW	0,5	18,94	23,14
EDAR 4	Émbolos-45kW	9	21,25	25,13
EDAR 5	Turbocompresores-435kW	10	34,00	37,00

5.4.4.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Relación de consumo de energía kWh/h.e. de la EDAR.
- Proporción habitual en su rango de temperatura.
- Edad y estado de los difusores.

5.4.4.6. AHORRO DE ENERGÍA

Con la implementación de esta solución se pueden conseguir ahorros de hasta un 22%.

En el estudio de la EDAR de Murcia, los resultados tras la sustitución de los difusores mostraron tasas de oxígeno transferido con una mejora del 31,4%, lo que significa que, para conseguir el mismo resultado, los compresores tendrán que trabajar menos horas.

Tabla 17. Variaciones en la transferencia de oxígeno mediante la sustitución de los difusores

EDAR	Años difusores	Situación	Oxígeno transferido (%)
EDAR 4	9	Antes de la sustitución	23,9
		Después de la sustitución	32,6
		Cambio después del cambio	26,9
EDAR 5	10	Antes de la sustitución	11,0
		Después de la sustitución	18,1
		Cambio después del cambio	39,3
EDAR 7	11	Antes de la sustitución	16,4
		Después de la sustitución	21,0
		Cambio después del cambio	28,0
Promedio			31,4

El ahorro de energía que se logre dependerá de la eficiencia del sistema.

5.4.4.7. CASOS DE REFERENCIA

La sustitución de los difusores se ha llevado a cabo en varias EDAR gestionadas por Aguas de Valencia, evaluando antes y después el consumo energético de las mismas.

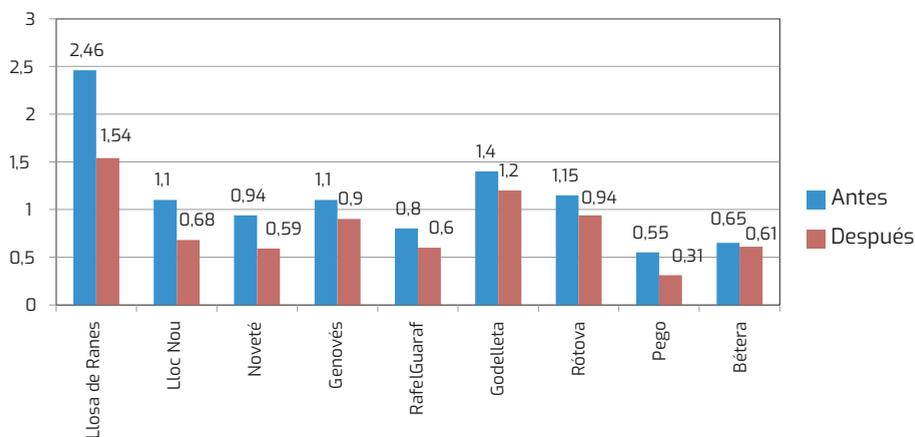


Figura 36: Ahorro tras la sustitución de los difusores. Fuente: Aguas de Valencia

Otra EDAR que optó por la sustitución de difusores fue la EDAR de Águilas. Esta EDAR dispone de 2 cuencas rectangulares iguales de 27 x 116 m y 5 ml de lámina de agua, con un SOR de 310 kg/h. En 1995 se instalaron 1188 difusores de membrana estándar, que fueron sustituidos en 2004 por membranas de burbuja fina. Esta modificación aumentó el SOTE del 27,4 al 31,2%, reduciendo el flujo total de aire en un 12,2%. Otras EDAR implementaron esta solución, por ejemplo, Cabezo Beaza, logrando un ahorro del 5,82% y otras como:

- EDAR de Huelva
- EDAR de Sada
- EDAR de Artá

5.4.5. MODIFICAR LA CONFIGURACIÓN Y EL NÚMERO DE DIFUSORES

5.4.5.1. CONTEXTO

Existen instalaciones en las que, a pesar de disponer de difusores de alta eficiencia y compresores de tamaño correcto, la eficiencia de la aireación no es la esperada. Esto puede deberse a que el caudal del difusor es superior al recomendado por el fabricante y a que los difusores diseñados para producir burbujas finas están produciendo burbujas gruesas. A veces, el cambio en el número de difusores y su configuración puede conducir a un aumento de la eficiencia energética.

5.4.5.2. OBJETIVO

El cambio en el número de difusores y su configuración para adaptar el caudal por difusor a las condiciones óptimas.

5.4.5.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable al tratamiento secundario de la EDAR:

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los sistemas de aireación.

5.4.5.4. CASOS DE APLICACIÓN

Para establecer la idoneidad de adoptar esta medida es necesario controlar el consumo de los sistemas de aireación y confirmar que está fuera de los valores esperados. Analizando las razones de esta desviación, se puede

establecer si este consumo excesivo está relacionado con un flujo/número de difusores fuera del rango óptimo.

5.4.5.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para llevar a cabo la evaluación de la medida son los siguientes:

- Relación de consumo de energía kWh/h.e. de la EDAR.
- Proporción habitual en su rango de temperatura.
- Flujo de aire.
- Número de difusores.

5.4.5.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden lograr ahorros de hasta un 15% implementando esta solución.

Un claro ejemplo del ahorro que se puede conseguir es el aumento de la densidad de los difusores:

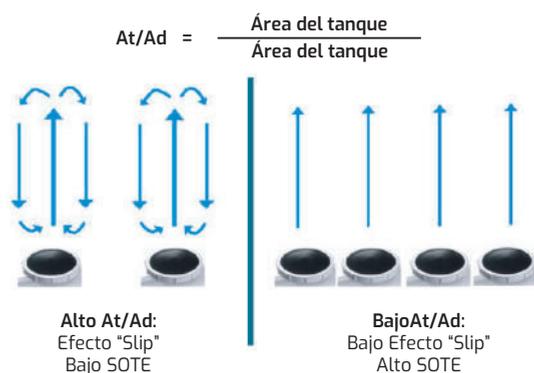


Figura 37: Área aireada. Fuente Xylem

Al aumentar los difusores, se reduce el espacio entre ellos y el efecto de deslizamiento debido al deslizamiento del fluido. El aire en los compresores avanza más lentamente, aumentando el tiempo de transferencia y mejorando el SOTE. Por lo tanto, para que coincida con el SOTE requerido, se necesitará un mayor número de membranas, que requieren menos aire y, por lo tanto, consumen menos energía de los compresores.

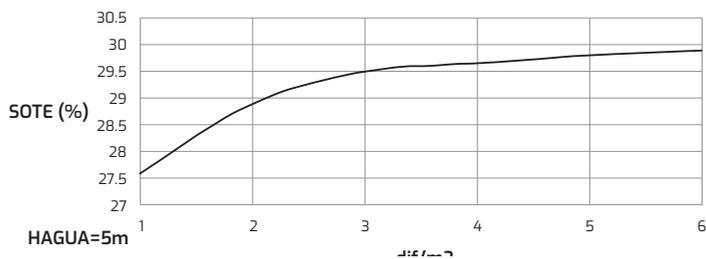


Figura 38: Mejora del SOTE en función del número de difusores /m². Fuente Xylem

5.4.5.7. CASOS DE REFERENCIA

Esta medida ha sido implementada, por ejemplo, en la *Waco Metropolitan Treatment Facility*.

5.4.6. SEPARACIÓN DEL MÉTODO DE AIREACIÓN Y AGITACIÓN

5.4.6.1. CONTEXTO

En algunas plantas de tratamiento de aguas residuales, los difusores de burbujas se han utilizado no sólo para suministrar oxígeno al agua, sino también para agitar el agua en el reactor con el fin de mejorar la mezcla y mantener los lodos en suspensión (homogeneización). El costo de energía de este sistema es alto, ya que el sistema de aireación tiene una eficiencia muy baja. Debido a esto, los agitadores deben funcionar independientemente de la aireación, optando por agitadores más eficientes.

Por otro lado, también debe valorarse la sustitución de los sistemas de agitación obsoletos o ineficientes, especialmente antes de las averías o al final de su vida útil, ya que existen en el mercado agitadores mucho más eficientes, como los del tipo plátano, que prácticamente cuadruplican la eficiencia de los agitadores compactos tradicionales.

5.4.6.2. OBJETIVO

La aplicación de agitadores específicamente diseñados para la homogeneización en tanques biológicos.

5.4.6.3. PROCESOS E EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable al tratamiento secundario de la EDAR:

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los agitadores y los sistemas de aireación.

5.4.6.4. CASOS DE APLICACIÓN

Esta medida es especialmente interesante en las EDAR en las que se utilizan sistemas difusores para la homogeneización de las aguas residuales.

También se pueden utilizar agitadores más eficientes cuando hay un consumo excesivo debido a los existentes o cuando están al final de su ciclo de vida.

5.4.6.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Relación de consumo de energía kWh/h.e. de la EDAR.
- Proporción habitual en su rango de temperatura.

En general, siempre que se realice una agitación con el sistema de aireación, ésta será ineficiente energéticamente, por lo que se recomienda siempre la instalación de agitadores.

Para seleccionar correctamente un agitador hay que tener en cuenta:

- El tamaño de los tanques
- La velocidad a la que debe fluir el fluido, dependiendo del proceso
- Ubicación del agitador

5.4.6.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden lograr ahorros de hasta un 15% implementando esta solución.

El ahorro de energía dependerá del agitador seleccionado:

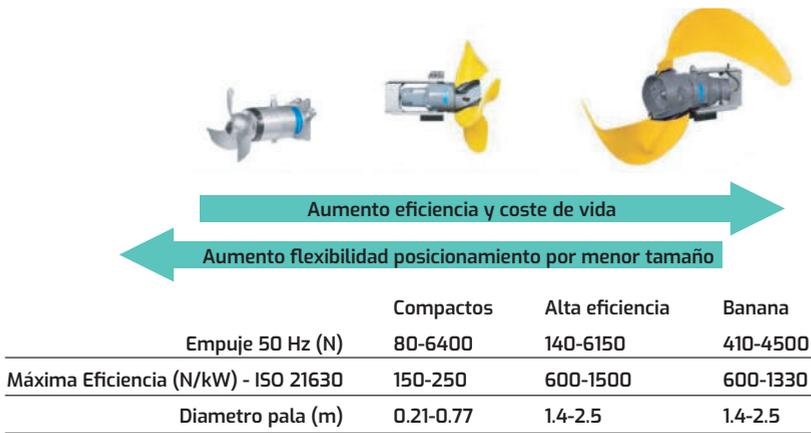


Figura 39: Comparación del rendimiento de los agitadores. Fuente FLYGT

Los agitadores de plátanos tienen la mayor eficiencia energética, debido al tamaño de sus palas, pero requieren más espacio para su montaje.

5.4.6.7. CASOS DE REFERENCIA

ESPAÑA

La EDAR de Valladolid recibe un caudal máximo de 3 m³/s, lo que corresponde a una población equivalente de 570.000 habitantes. Disponen de 12 tanques anóxicos de 28,5x12,75x5 m. En 2011, dos agitadores compactos de 4,5 kW fueron reemplazados en cada tanque por un agitador para plátanos de 2,3 kW.

Tabla 18. Resultados de la sustitución del agitador

Equipos	Ud	Pot (W)	Consumo (kWh)	Par unitario (N)	Eficiencia (N/kWh)
Compacto	2	4,5 x2	2,9x2=5,8	1 282	221
Banana	1	2,3	1,45	1 340	924

El ahorro anual de energía es de $((5.8-1.45) \text{ kWh} \times 24\text{h} \times 365) \times 12$ tanques = 457 272 kWh. Suponiendo un coste medio de compra de electricidad de 0,12 €/kWh, el ahorro anual de la medida es de 54 872 €.

Otra EDAR que también optó por instalar sistemas de agitación más eficientes fue la EDAR de Estepona, que contaba con 2 agitadores compactos

por cámara y en la nueva línea sólo se instaló un agitador por cámara del tipo Banana.

PORTUGAL

La EDAR de Vila Real cubre la ciudad de Vila Real y es responsable del tratamiento de aguas residuales domésticas de una población equivalente de aproximadamente 75.000 habitantes y un caudal diario de 8.000 m³.

En los tanques de tratamiento secundario, para suministrar oxígeno a la comunidad bacteriana allí presente, esta EDAR dispone de cinco soplantes para la aireación del fondo de los tanques, uno de los cuales está en reserva, equipados con motores de inducción trifásicos de 75 kW, de alta eficiencia (equivalente al actual IE2), con arranque suave o Variador Electrónico de Velocidad (VEV).

En estos mismos tanques, pero con la función de mantener la homogeneización de las aguas residuales, existen dieciséis agitadores sumergibles, accionados por otros tantos motores de inducción trifásicos con potencias entre 1,5 y 2,8 kW, todos ellos de arranque directo.

5.4.7. APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE COMPRESORES MÁS EFICIENTES

5.4.7.1. CONTEXTO

Una ventilación adecuada y una selección óptima de compresores son dos de las consideraciones más importantes que deben tenerse en cuenta a la hora de reducir el consumo de energía en una EDAR. Existen numerosos tipos y configuraciones de compresores, pero básicamente, se pueden dividir en dos grandes grupos: de desplazamiento positivo (accionado por lóbulos o por tornillo) o centrífugo (accionado por impulsor).

La energía que consumen depende del caudal que impulsan, de su presión y del rendimiento del equipo. Debido a la creciente importancia de la eficiencia energética en el diseño de los equipos, en los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías, como los turbocompresores con levitación magnética, con mayor rendimiento, que permiten la aireación en plantas de tratamiento con menores costes energéticos. Es importante tener en cuenta que no existe una tecnología de aireación ideal para todas las situaciones, que dependerá de las condiciones de consumo, el perfil de flujo, las presiones de trabajo, etc.

5.4.7.2. OBJETIVO

La sustitución de los compresores existentes por nuevas tecnologías de mayor rendimiento.

5.4.7.3. PROCESO Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en los siguientes procesos de la EDAR:

- Pretratamiento
- Tratamiento Secundario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los compresores.

5.4.7.4. CASOS DE APLICACIÓN

Esta medida se aplica a las plantas de tratamiento de aguas residuales que tienen un consumo excesivo en aireación (kWh/h.e) y cuyo funcionamiento de los compresores puede ser optimizado.

5.4.7.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Perfil de flujo de aire.
- Presiones de trabajo
- Frecuencia de trabajo
- Horas de funcionamiento anuales
- Consumo de energía
- Coste de la energía eléctrica

5.4.7.6. AHORRO DE ENERGÍA

Con la implementación de esta solución se pueden conseguir ahorros de hasta un 23%.

De las tecnologías comúnmente utilizadas, la que presenta a priori la menor eficiencia es la de los compresores de émbolos rotativos, en los que el aire es comprimido por la contrapresión del sistema (compresión externa). En el caso de los compresores de tornillo, la compresión es interna, lograda por el paso del aire a lo largo de los tornillos, y su eficiencia es mejorada en comparación con los anteriores. Los compresores centrífugos generalmente tienen mayor rendimiento que los compresores de desplazamiento

positivo, especialmente en el caso de compresores de levitación de alta velocidad, magnéticos o de aire.

Tabla 19. Eficiencia de las diferentes tecnologías de compresores

Tecnologías	Eficiencia Sistema (%)
Compresores de émbolos rotativos	43-50
Compresores de tornillo	53-65
Compresores centrífugos multietapa/velocidad fija	60-68
Compresores centrífugos de levitación (magnéticos/aire)	66-73

Si se comparan los ratios de los sistemas menos eficientes y más eficientes, se puede observar que se pueden conseguir ahorros de entre el 16 y el 30%, siempre en función del equipo analizado y de sus condiciones de funcionamiento.

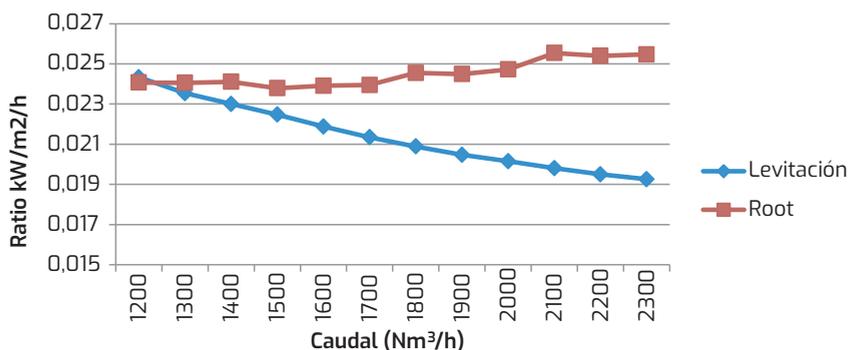


Figura 40: Rendimiento ROOT vs. levitación, datos de equipos comerciales

Además de un menor consumo, los nuevos sistemas de levitación reducen las piezas mecánicas, lo que se traduce en unos costes de mantenimiento más económicos, unas dimensiones más reducidas y unos niveles de ruido más bajos.

5.4.7.7. CASOS DE REFERENCIA

En la depuradora de Caravaca de la Cruz se sustituyó un compresor de tres lóbulos de 250 kW por un compresor de levitación magnética de 200 kW. Para la sustitución se seleccionó un equipo que produjera un caudal de aire

igual o superior al del compresor existente, pasando de un rango de caudal de aire de 4 138-7 369 Nm³/h (tres lóbulos) a 3 520-8 185 Nm³/h para levitación, de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes. Se realizaron mediciones reales en ambos equipos, con intervalos de incremento del 5% en el porcentaje de trabajo, desde los valores mínimos de ambos equipos hasta los valores máximos.

En cada porcentaje de trabajo, se midió el consumo del equipo, con el compresor de levitación consumiendo menos energía eléctrica para el mismo flujo de aire.

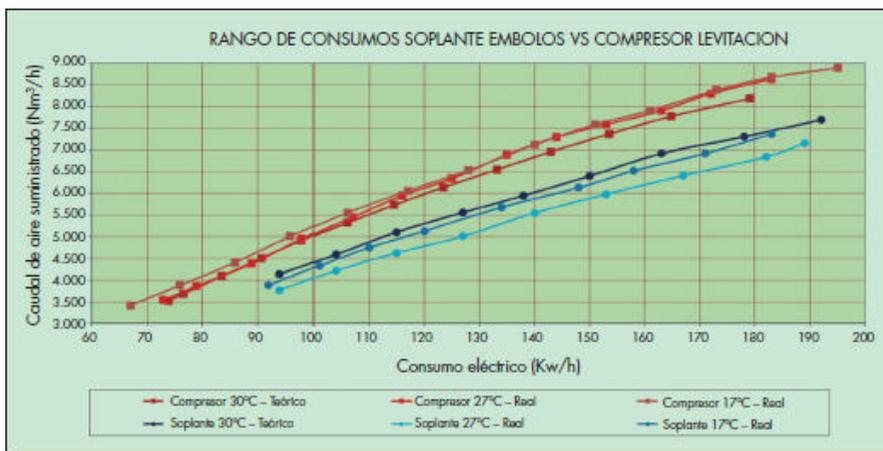


Figura 41: EDAR de Caravaca de la Cruz. Consumo eléctrico a diferentes caudales para el compresor de pistón y el compresor de levitación

En la figura anterior se observa que, en cualquier rango de trabajo, el consumo eléctrico del compresor de levitación es menor que el del compresor de pistón, con una reducción entre 17 y 23%.

En la depuradora de Orihuela, con un caudal diario de 6.829 m³/día y 47.630 h.e., se ha sustituido un compresor de tres lóbulos por un compresor de levitación magnética:

Tabla 20. Comparación de los equipos de la EDAR de Orihuela

Tecnologías	Caudal (Nm ³ /h)	Consumo (KW)	Relación kW/m ³ /h
Compresor Root SEM40	2 108,27	53,4	0,02449
Compresor de levitación HST 2500	2 200	42,9	0,01950

Los requisitos de caudal son muy similares, los compresores de levitación presuponen un ahorro medio del 20% respecto a la situación anterior. Otras plantas de tratamiento que han implementado esta solución son, por ejemplo, EDAR Cabezo Beaza, con un ahorro del 3,92%, y las de:

- EDAR de Archena
- EDAR de Castellón
- EDAR de Alzire
- EDAR de L'Horta Nord
- EDAR de Skanderborg

5.4.8. REDIMENSIONADO DEL TAMAÑO DE LOS COMPRESORES

5.4.8.1. CONTEXTO

Como en el caso de las bombas, también es común encontrar compresores sobredimensionados para el caudal y la presión requeridos. Durante la fase de diseño, el equipo tiende a ser sobredimensionado con el fin de proporcionar versatilidad para futuras sobrecargas, para reducir los riesgos en el cálculo y la selección o para proporcionar mayor robustez al sistema.

En ocasiones, para ajustar el caudal, se utilizan dispositivos de estrangulamiento, bypass o paradas intermitentes, que no son muy eficientes desde el punto de vista energético. En algunos casos, la aplicación de convertidores de frecuencia puede ayudar a ajustar el caudal a las condiciones deseadas, pero no siempre es posible alcanzar un punto de funcionamiento óptimo.

5.4.8.2. OBJETIVO

La aplicación de compresores correctamente dimensionados para las necesidades reales de aire de la EDAR.

5.4.8.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable al tratamiento secundario de la EDAR:

Los equipos afectados por esta medida de mejora son compresores.

5.4.8.4. CASOS DE APLICACIÓN

EDAR con un consumo energético excesivo debido al sobredimensionamiento de los compresores.

5.4.8.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que debe tener en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Caudal requerido
- Caudal disponible
- Presión requerida

5.4.8.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden lograr ahorros de hasta el 50% implementando esta solución. Como en el caso de motores y bombas sobredimensionados, hay que tener en cuenta que el ahorro dependerá fundamentalmente de la situación inicial y de la potencia ajustada de los nuevos compresores. Si la potencia seleccionada para la sustitución es correcta, los nuevos compresores no necesitarán más horas para suministrar el aire necesario, por lo que el ahorro deberá ser proporcional a las diferencias entre las potencias de los equipos. Otra posibilidad es aprovechar el cambio de compresores además de ajustarse a su potencia, seleccionar tecnologías más eficientes energéticamente.

5.4.8.7. CASOS DE REFERENCIA

En el marco del proyecto de optimización energética de la EDAR de Murcia, se sustituyó el antiguo equipo de aireación, sobredimensionado para sus necesidades reales de trabajo, por las EDAR de Yecla y Torres de Cotillas. En Yecla, un compresor de 250 kW fue sustituido por otro de 110 kW y posteriormente reducido a 90 kW. En Torres de Cotillas, un compresor de 250 kW fue reemplazado por otro de 110 kW, lo que resultó en un interesante ahorro de energía.

Una de las conclusiones más interesantes del estudio es que, contrariamente a lo que se esperaba, las horas de funcionamiento de los compresores no aumentaron, a pesar de la reducción de su potencia. Este hecho estaba relacionado con la reducción de las pérdidas de presión, combinada con un mejor uso del aire por parte de los microorganismos.

En el rango de potencia más bajo, hay un suministro de aire homogéneo en comparación con los picos de flujo, como es el caso de los equipos de mayor potencia.

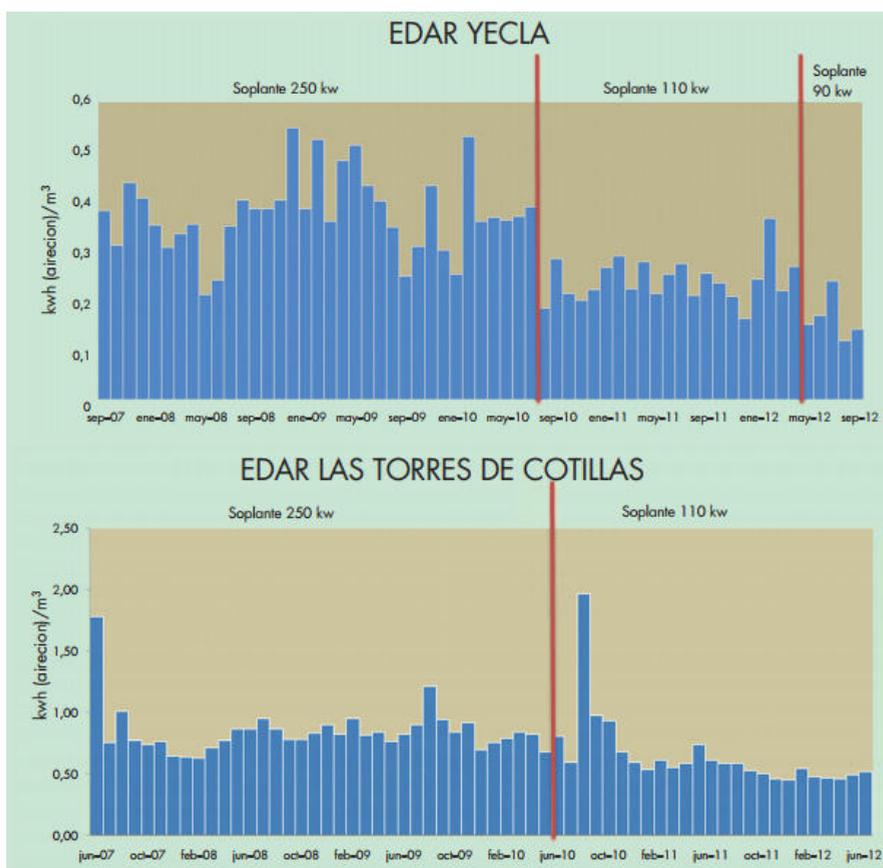


Figura 42: Consumo de energía tras la sustitución de los equipos de aireación.

Otras plantas de tratamiento de aguas residuales que han implementado esta solución son, por ejemplo, la EDAR de Waukesha.

5.4.9. SISTEMAS DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE AIREACIÓN

5.4.9.1. CONTEXTO

La concentración de oxígeno disuelto en los procesos de lodos activados se considera uno de los parámetros de control más importantes de una EDAR. Una baja concentración de oxígeno disuelto afecta el crecimiento de los microorganismos, mientras que una alta concentración de oxígeno representa un gasto energético significativo, asociado al trabajo excesivo de los compresores, que afecta negativamente al proceso.

Los sistemas de control para ajustar las condiciones óptimas en el tratamiento secundario tienen como objetivo proporcionar el flujo de aire correcto en todo momento. Esto tiene un impacto significativo en el consumo de energía porque actúa directamente sobre los sistemas de aireación.

El sistema de control más utilizado se basa en la medición del oxígeno disuelto, sin embargo, también es común ver sistemas en los que se mide el potencial redox.

La aparición de nuevas sondas de medida para nuevos parámetros a un coste asequible y el desarrollo de nuevas estrategias de control, permite la implantación de nuevos sistemas que reducen el consumo energético del proceso.

5.4.9.2. OBJETIVO

La implementación de nuevos y más eficientes sistemas de control para el tratamiento secundario que regulan más eficientemente el suministro de aire al reactor.

5.4.9.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable al tratamiento secundario de la EDAR:

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los sistemas de aireación, compresores, rotores, turbinas, etc.

5.4.9.4. CASOS DE APLICACIÓN

Estos sistemas de control son muy recomendables en plantas de tratamiento con sistemas de control obsoletos.

5.4.9.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que debe tener en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Relación de consumo de energía kWh/h.e. del proceso de tratamiento secundario.
- Relación normal en su rango de h.e.

5.4.9.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden lograr ahorros de hasta un 35% implementando esta solución.

Los sistemas de control diseñados evitan que los compresores funcionen innecesariamente y sólo los ponen en funcionamiento cuando los sensores determinan que las condiciones del licor requieren una toma de aire. De esta manera, pasamos de la operación continua a una de ciclos alternados, reduciendo los períodos de operación y consecuentemente el consumo de energía.

5.4.9.7. CASOS PILOTO EN EL MARCO DEL PROYECTO AQUALITRANS

En el marco del proyecto AQUALITRANS, concretamente en la EDAR de Ares, se ha buscado optimizar el funcionamiento de los rotores de inmersión, concretamente posicionándolos en un punto de inmersión óptimo, mediante una descarga regulable controlada automáticamente, con un sensor de nivel ultrasónico. Así, permitiendo el funcionamiento de los rotores de inmersión en un punto óptimo, se espera reducir el consumo en un 4%, de 312.971 kWh a 300.451 kWh al año.



Figura 43. Rotores de inmersión en la EDAR de Ares.

5.5. SISTEMA DE DESINFECCIÓN ULTRAVIOLETA

5.5.1. AJUSTE DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN ULTRAVIOLETA

5.5.1.1. CONTEXTO

La energía consumida por la desinfección ultravioleta (UV) es aproximadamente del 10 al 25% de la energía total utilizada en la EDAR. Siendo una cantidad a tener en cuenta en el consumo de una EDAR, es necesario

controlar el sistema de desinfección por UV. La automatización puede reducir el número de lámparas y el tiempo de uso, basándose en datos de flujo en tiempo real y de calidad de las aguas residuales. Los sistemas de control más comunes se basan en la medición del caudal o de la transmitancia.

5.5.1.2. OBJETIVO

La regulación del uso de lámparas ultravioletas mediante la monitorización del flujo.

5.5.1.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable al tratamiento Terciario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los sistemas de lámparas ultravioletas.

5.5.1.4. CASOS DE APLICACIÓN

Plantas de tratamiento con altos costos de energía en desinfección UV, con capacidad para monitorizar el tratamiento terciario.

5.5.1.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Los datos que debe tener en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Flujo
- Potencia de la lámpara
- Transmisión ultravioleta

5.5.1.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden lograr ahorros de hasta un 25% implementando esta solución.

5.5.1.7. CASOS PILOTO EN EL MARCO DEL PROYECTO AQUALITRANS

En el marco del proyecto AQUALITRANS, se ha implantado un sistema de regulación de potencia mediante la reprogramación del autómata de control de radiación ultravioleta de la EDAR de Nigrán. A través de una comparación realizada para analizar el resultado obtenido por la medida, se presentó un ahorro de consumo energético diario en torno al 40% y un ahorro energético

anual estimado en torno al 31%, que en el consumo global de la EDAR tendrá un peso del 3,2%.

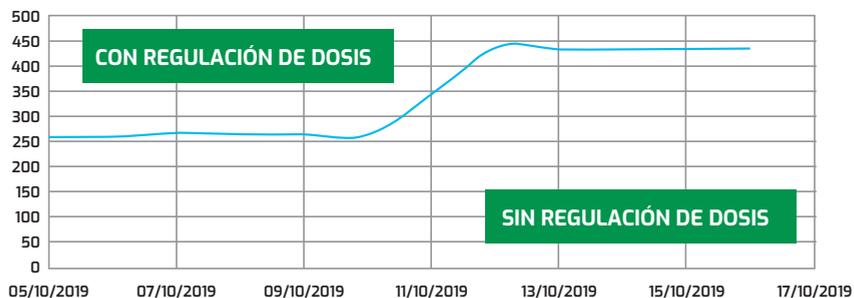


Figura 44. Consumo energético comparativo con o sin regulación de dosis



Figura 45. Desinfección UV instalada en la EDAR de Nigrán.

5.5.2. USO DE LÁMPARAS UV DE BAJA PRESIÓN

5.5.2.1. CONTEXTO

Debido a las preocupaciones relacionadas con la seguridad, manejo y toxicidad de los efluentes asociados con el cloro, la desinfección ultravioleta (UV) se ha vuelto popular en los últimos años como una alternativa a la desinfección química.

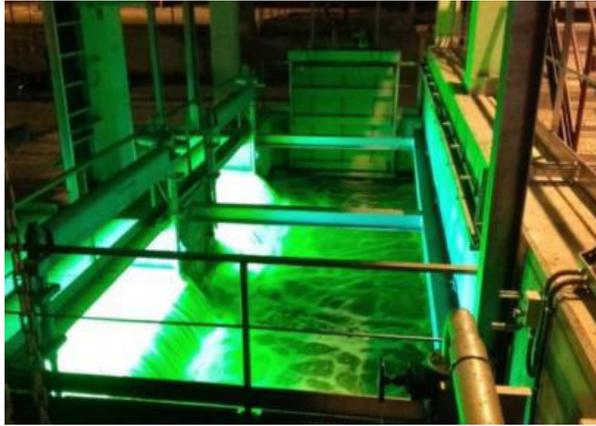


Figura 46: Sistema de UV de baja presión, ETAR de *Viveros da Villa*

La radiación ultravioleta puede penetrar en las células de los microorganismos y combatirlos, limitando su reproducción. Entre las ventajas se encuentran las siguientes:

- No hay cambios en las características organolépticas del agua tratada.
- El tiempo de contacto necesario para la desinfección es más corto (más corto).
- El proceso físico y químico no deja ningún residuo tóxico en el agua tratada, lo que ocurre con el cloro y otros desinfectantes químicos.
- Buena acción viral y bacteriana.
- No presenta ningún tipo de peligro para el hombre, la flora y la fauna.

Existen dos tipos de lámparas UV: de media y baja presión. Las lámparas de media presión tienen potencias de varios kW y emiten luz UV con diferentes longitudes de onda, entre 185 y 400 nanómetros. Su rendimiento, entendido como el porcentaje de conversión de la potencia aplicada en emisiones UV-C a 254 nanómetros, se sitúa entre el 7 y el 12%.

En el caso de aquellos con baja presión que sólo producen en una longitud de onda (254 nm), la potencia va de 60 a 600W y tiene una eficiencia entre el 26% y el 34%.

Las lámparas de media presión requieren de 2 a 4 veces más energía para funcionar que las lámparas de baja presión. Dentro de las lámparas de baja presión hay un grupo llamado alto rendimiento que trabaja con una amalgama de mercurio en lugar de mercurio en el gas, lo que aumenta las ventajas de este tipo (alto poder desinfectante y bajos requerimientos de energía).

5.5.2.2. OBJETIVO

Sustitución de las lámparas de desinfección UV de presión media por lámparas de baja presión de alto rendimiento.

5.5.2.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable al tratamiento Terciario

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los sistemas de lámparas ultravioletas.

5.5.2.4. CASOS DE APLICACIÓN

Plantas de tratamiento de aguas residuales con altos costos de energía para la desinfección UV.

5.5.2.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que debe tener en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Potencia de la lámpara
- Número de lámparas
- Concentración de patógenos
- Eliminación bacteriana deseada

5.5.2.6. AHORRO DE ENERGÍA

Con la implementación de esta solución se pueden conseguir ahorros de hasta un 65%. Hay que tener en cuenta que el rendimiento de las lámparas de baja presión puede llegar a ser hasta tres veces superior al de las lámparas de alta presión. Por ejemplo, para conseguir una emisión media de UV-C de 68 W a 254 nm, después de 100 horas de funcionamiento, se necesita una lámpara de baja potencia de 200 W (eficiencia igual al 34%), pero una de 570 W en el caso de las lámparas de alta potencia (eficiencia igual al 12%) en miles de horas de funcionamiento esa lámpara por sí sola gasta unos 370 kWh.

5.5.2.7. CASOS DE REFERENCIA

La EDAR de Viveros de la Villa en Madrid cuenta con 24 módulos UV instalados, compuestos por 864 lámparas UV de baja presión de 400 W cada una.

Los sistemas UV verticales disponen de un nuevo sistema de optimización energética basado en la desactivación de filas de lámparas que no necesitan ser utilizadas, dependiendo de la calidad del agua y las que están activas pueden modificar su potencia de 50 a 100%.

El control de la energía se realiza a través de un sistema de gestión centralizado que combina las señales de transmisión de agua y caudal para optimizar en todo momento el consumo energético. Todas las lámparas UV disponen de un sistema de limpieza automático que les permite funcionar siempre en las mejores condiciones.

Otra EDAR que ha implementado esta solución es, por ejemplo, la Stockton.

5.6. SISTEMA DE DESODORIZACIÓN

5.6.1. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DESODORIZACIÓN

5.6.1.1. CONTEXTO

Actualmente, algunas grandes plantas de tratamiento de aguas residuales cuentan con sistemas de desodorización automatizados para la eliminación de olores y compuestos orgánicos volátiles.

Sin embargo, esta automatización no se aprovecha en absoluto, ya que una mejora considerable que se podría implementar sería la instalación de sensores de partículas/compuestos que permitieran que el tratamiento fuera modular, activándose cuando la concentración alcanzara el valor máximo preestablecido y disminuyera a medida que esta concentración se fuera reduciendo.

Asimismo, si la instalación se sectoriza en el programa de automatización, se pueden designar diferentes set-points para cada uno de los procesos en función de sus niveles de contaminación, consiguiendo así un importante ahorro energético.

Con la ayuda de esta medida, las altas cargas contaminantes podrían ser tratadas con bajos costos de operación y un retorno de la inversión a corto plazo.

5.6.1.2. OBJETIVO

Control de la renovación de aire mediante sensores de amonio y ácido sulfhídrico.

5.6.1.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en varios procesos afectados, en los que se producen mayores olores: pretratamiento, espesantes y deshidratadores.

El equipo afectado por esta medida de mejora es el sistema de desodorización.

5.6.1.4. CASOS DE APLICACIÓN

Esta medida puede aplicarse en plantas de tratamiento con un sistema de desodorización no automatizado.

5.6.1.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Olor
- Potencia del equipo
- Horario de atención
- Sectorización

5.6.1.6. AHORRO DE ENERGÍA

Con la implementación de esta solución se pueden conseguir ahorros de hasta un 75%, ya que se evitan las desodorizaciones innecesarias. Los ahorros obtenidos dependerán del régimen operativo anterior y del grado de ajuste alcanzado con la solución implementada.

5.6.1.7. CASOS DE REFERENCIA

La EDAR de Fuenmayor-Río Antigo, con una capacidad de tratamiento de 18.667 h.e. y un caudal medio diario de 3.500 m³, aplica un tratamiento de lodos activados con aireación prolongada y está diseñada para nitrificar y desnitrificar, con la posibilidad de superar el 80% de la eliminación de nitrógeno.

La EDAR dispone de una instalación de desodorización que trata el aire del edificio de pretratamiento y de la sala de deshidratación para evitar posibles emisiones de olores al exterior. La instalación es automatizada, con un sistema de supervisión y control de todos los equipos.

Otras plantas de tratamiento de aguas residuales que han implementado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR de La Cartuja
- EDAR de Torremocha de Jarama

5.7. LAS TECNOLOGÍAS RENOVABLES Y EL USO DE LAS ENERGÍAS RESIDUALES DE LOS PROCESOS

5.7.1. COGENERACIÓN

5.7.1.1. CONTEXTO

La operación en la EDAR genera lodos que en muchos casos son desechados. Mediante la transformación bioquímica de estos lodos (digestión anaeróbica), se obtiene una mezcla de metano (50-80%) y dióxido de carbono (20-50%) con trazas de otros gases.

Este gas puede ser utilizado energéticamente de varias maneras: cogeneración, producción de calor, inyección en la red de gas, uso de gas en motores, alimentación de vehículos a gas, etc.

La cogeneración es un proceso por el cual se obtiene energía eléctrica y térmica de la combustión. En un sistema tradicional de producción de electricidad a partir de combustibles fósiles, la mayor parte de la energía contenida en el combustible se transforma en calor que no se utiliza, lo que resulta en una pérdida de hasta 2/3 de la energía total.

Sin embargo, la cogeneración permite aprovechar esta energía térmica, optimizando el proceso de generación:

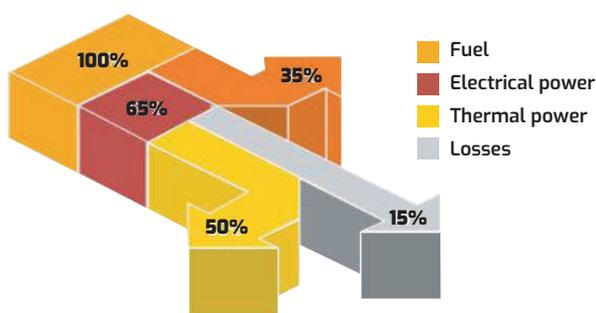


Figura 47: Rendimiento de la cogeneración

El flujo de biogás del digester puede ser utilizado como combustible en una planta de cogeneración, haciendo uso de los recursos propios de la planta.

Existen numerosas tecnologías de cogeneración, como motores alternativos, turbinas o pilas de combustible. Dado que la digestión anaeróbica funciona mejor en un rango de temperatura de 50-60 °C, la energía térmica producida por el sistema se utiliza normalmente para satisfacer las necesidades de calor del propio digestor, así como para satisfacer las necesidades de control climático de la planta.

La implantación de una planta de cogeneración en una EDAR tiene una serie de ventajas que destacan:

- Producir electricidad a bajo costo
- Reducción del consumo de combustibles fósiles para cubrir las necesidades térmicas
- Reducción de las pérdidas de transporte en la red eléctrica, ya que la energía se produce y se transforma en el mismo lugar.

5.7.1.2. OBJETIVO

La implantación de un proceso de digestión anaerobia y una planta de cogeneración con el objetivo de aprovechar la energía eléctrica y térmica obtenida de la combustión del biogás.

5.7.1.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en la línea de lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los digestores y las instalaciones de cogeneración.

5.7.1.4. CASOS DE APLICACIÓN

Este proceso requiere una alta inversión en equipos y no es adecuado para todo tipo de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se recomienda realizar un estudio, obviamente debido a las economías de escala, ya que cuanto más grande sea la EDAR, más fácil será implantar un sistema de cogeneración con biogás.

Los costes de inversión pueden oscilar entre 1 500 y 3 500 €/kW y los costes de producción de electricidad entre 0,085 y 0,005 €/kWh, dependiendo del tamaño de la planta, de la tecnología utilizada, de las características de las aguas residuales y de la propia EDAR.

5.71.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Composición del lodo
- Cantidad de lodo
- Energía consumida
- Temperatura exterior
- Espacio disponible
- Habitantes equivalentes tratados
- Ubicación de la instalación
- Capacidad de producción media y máxima
- Capacidad de almacenamiento
- Capacidad de combustión
- Energía requerida de la instalación
- Precio de venta de la energía

5.71.6. AHORRO DE ENERGÍA

El ahorro de esta solución dependerá de la eficiencia del proceso de secado, del sistema de cogeneración y del aprovechamiento de la energía generada. Un sistema de cogeneración eficiente es aquel que aprovecha el 100% del calor y la electricidad producidos. En el caso de la electricidad, la producción obtenida puede consumirse en las instalaciones de la central y, en caso de excedentes, puede inyectarse en la red general de suministro. El calor es más complicado, ya que en la mayoría de los casos debe ser consumido en su totalidad en la propia planta de tratamiento sin que exista una simple gestión del excedente. El calor puede ser utilizado para el secado de lodos, sistemas de aire acondicionado, etc.

En cualquier caso, el consumo de energía seguirá existiendo, con la diferencia de que ahora puede provenir de un sistema más eficiente y económico, además de ser más respetuoso con el medio ambiente.

5.71.7. CASOS DE REFERENCIA

ESPAÑA

La planta de tratamiento de Atalerreka cuenta con una planta de cogeneración. Los lodos extraídos de los procesos de tratamiento se someten a tratamiento en la propia planta, convirtiéndolos en materia seca para su uso como materia prima de biocarburantes y extrayendo biogás, que en la

propia planta se utiliza como combustible para generar energía eléctrica renovable.

En el caso de esta planta, los lodos se secan con vapor de agua, que requiere energía térmica. Para producir esta energía, la planta cuenta con tres motores generadores que generan energía eléctrica a partir del gas natural, aprovechando el calor generado en este proceso para secar los lodos. La energía eléctrica obtenida de estos tres equipos se consume en la propia planta y en la estación de bombeo de Hondartza, vendiendo el excedente a la empresa distribuidora de electricidad a través de la conexión de la red general.

Además, en esta instalación se integran dos biogeneradores que, a partir del biogás obtenido de la digestión de los lodos, producen energía eléctrica y contribuyen también al secado de los mismos. Los cinco motores juntos producen más de 6,3 millones de kWh/año.

Otra planta de cogeneración que utiliza el biogás producido en la propia EDAR es la de Murcia-Este.

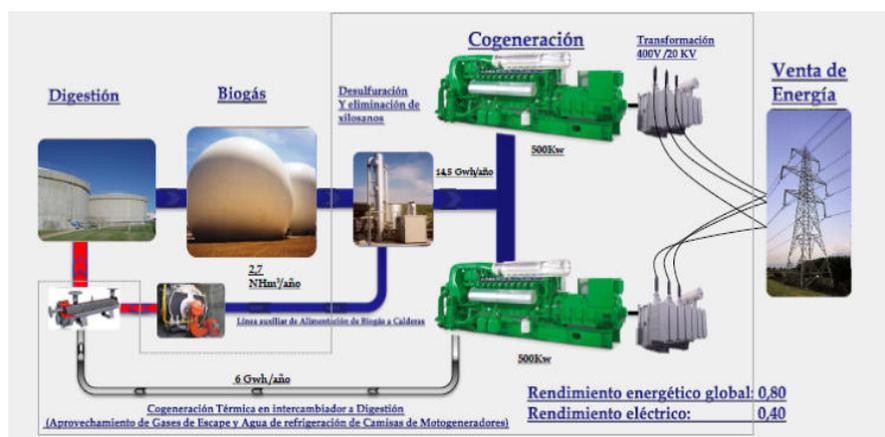


Figura 48: Esquema de operación de la cogeneración en la EDAR de Murcia-Este. Fuente: ESAMUR

La cogeneración mediante biogás es una solución ampliamente implementada en las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales debido a sus buenos resultados. Otras EDAR que también han adoptado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR de Novelda
- EDAR de Pinedo
- EDAR de Paternas

- EDAR de Alzira-Carcaixent
- EDAR de Sitges
- EDAR de Monforte del Cid
- EDAR de Pobla de Farnals
- EDAR de Utiel

PORTUGAL

La EDAR de Vila Real dispone de una planta de mini-generación compuesta por dos módulos generadores eléctricos PREMI 22A, cada uno de los cuales es accionado por un motor de combustión interna, biogás. El biogás se genera mediante la digestión anaerobia de los lodos producidos en el tratamiento de las aguas residuales de esta instalación, en dos digestores de 600 m³ de capacidad cada uno.



Figura 49: Uno de los dos módulos de cogeneración

Las principales características técnicas de estos grupos electrógenos son las siguientes:

Tabla 4. Características del sistema de cogeneración implantado en la EDAR de Vila Real

Motor	
Modelo	LG4 183 2 AA
Cilindrada	1 300 cm ³
Potencia	77,5 kW
Generador	
Modelo	LG4 183 2 AA
Tensión	230/400 V

Potencia eléctrica	22 kW
Potencia térmica	42 kW

La energía eléctrica producida en estos módulos de cogeneración es consumida íntegramente por la EDAR de Vila Real, a través de una conexión eléctrica trifásica de baja tensión equipada con los respectivos equipos de medida. La electricidad producida por este equipo representa aproximadamente el 11% de la electricidad consumida por la EDAR (75 MWh/año).

Para aprovechar la energía térmica disipada por el motor o motores de accionamiento, la planta de mini generación dispone de los intercambiadores de calor necesarios para calentar el agua. El biogás, además de alimentar la planta de cogeneración, se utiliza en el propio digestor anaeróbico para asegurar su correcto funcionamiento en términos de presión y homogeneización, así como en una caldera de apoyo, que se utiliza para mantener la temperatura de los digestores.

Otra planta de cogeneración que utiliza el biogás producido en la propia EDAR es la de Freixo.

5.7.2. CODIGESTIÓN

5.7.2.1. CONTEXTO

En algunos casos, ya sea por sobredimensionamiento o cuando las condiciones lo permiten, puede haber más capacidad de digestión de la necesaria. En esta situación, el digestor anaeróbico puede ser utilizado para procesar otros residuos, como el de las granjas junto con los lodos.

Codigestión, el nombre de este proceso, tiene ciertas ventajas que lo convierten en una opción muy interesante para la recuperación:

- Aprovecha la complementariedad de los residuos
- Usted hace que los procesos sean más estables
- Reduce la dependencia del sustrato
- Aumento de la producción de biogás
- Mejora la gestión sostenible de los residuos orgánicos, aunque sus posibilidades dependen en gran medida del medio ambiente.

5.7.2.2. OBJETIVO

El uso de la capacidad del digestor para aumentar su producción con el uso de otros sustratos para reducir los costes de producción de biogás mediante economías de escala.

5.7.2.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en la línea de lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los digestores.

5.7.2.4. CASOS DE APLICACIÓN

La codigestión se recomienda en los casos en que se dispone de un digestor con mayor capacidad de la necesaria para tratar los lodos y en los que existe la voluntad de adquirir recursos de diferentes explotaciones compatibles con el proceso de digestión.

5.7.2.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Masa de material adicional
- Costo de material adicional
- Producción de biogás
- Rendimiento del digestor
- Costos de operación

5.7.2.6. AHORRO DE ENERGÍA

Las ventajas de la codigestión no radican en el ahorro de energía, sino en la optimización de las instalaciones de tratamiento, la recuperación de residuos y el aumento de la producción de biogás.

5.7.2.7. CASOS DE REFERENCIA

En las EDAR de la Pobl de Farnals y Molina de Segura se ha realizado un experimento de codigestión conjunta, aprovechando el volumen del digestor existente para incorporar otros sustratos que compensan el equilibrio de nutrientes y humedad, mejorando así la eficiencia del proceso y la producción de biogás.

Tabla 5. Experiencias de Codigestión Características de las EDAR de la Pobl de Farnals y Molina de Segura

Variable	Pobl de Farnals	Molina de Segura
Caudal de proyecto (m ³ /d)	30 000	25 000
Nº digestores	1	1
Volumen de digestor (m ³)	5 400	7 612

Analizando los resultados obtenidos, se puede observar que la producción de biogás aumentó en ambas EDAR, aunque el efecto también depende de aspectos como el tiempo de retención en el digestor y la composición de los lixiviados vertidos y otros efectos:

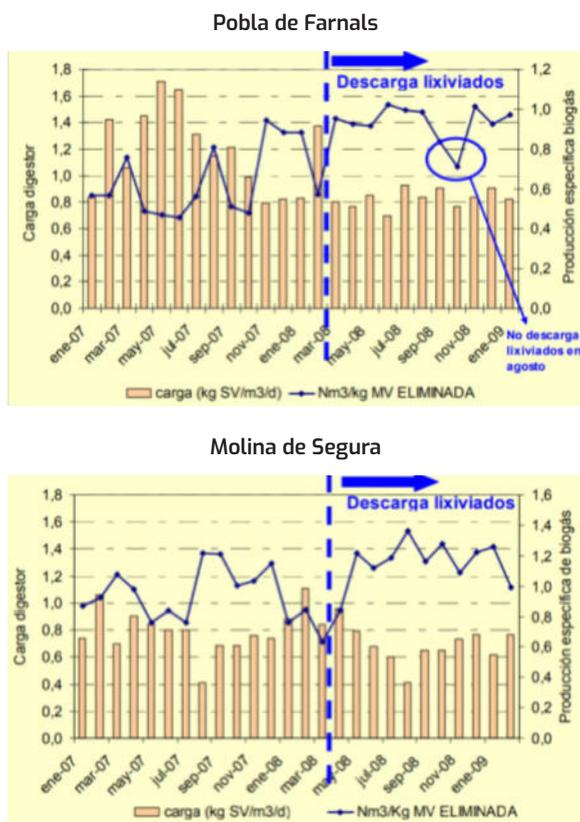


Figura 50: Resultados de la producción de biogás

Otro caso de éxito es la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Sant Feliu. Se trata de una planta de tratamiento biológico para la eliminación de nutrientes, que trata 17 000 000 m³/año e incluye un tratamiento de regeneración terciaria para el uso final de parte del efluente para la agricultura o el riego.

Los lodos producidos por la planta se bombean a un sistema de digestión anaeróbica compuesto por dos digestores de 6 000 m³ de capacidad cada uno. La codigestión se creó, en este caso, como una forma de impulsar la producción de biogás, para que el motor de cogeneración pudiera mantenerse

en funcionamiento de forma permanente. La electricidad producida por este proceso se vende a la red general.

Los productos han sido seleccionados en formato líquido compatible con el proceso de codigestión anaeróbica, que se incorpora de forma escalonada y progresiva. Los resultados muestran cómo la producción de biogás aumentó en más de un 125% y la generación de energía en un 180%, con 13 160 kWh/día, casi el 100% de la energía consumida por la EDAR, alrededor de 14 350 kWh.

Tabla 6. Experiencias de Codigestión - Resultados de la EDAR de Sant Feliu

Caudal de proyecto (m ³ /día)	Tratamiento de lodos	Producción de biogás (Nm ³ /día)	Generación de electricidad (kWh/día)
64.000	Digestión anaerobia	2 950	4 700
	Codigestión anaerobia	6 725	13 600

Otras EDAR que también han adoptado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR de Quart-Benàger
- EDAR de Alzira-Carcaixent
- EDAR de Novelda

5.7.3. AISLAMIENTO DEL DIGESTOR

5.7.3.1. CONTEXTO

Los sistemas de tratamiento de lodos para la producción de biogás son equipos con años de funcionamiento. Muchos de estos equipos no tienen un aislamiento adecuado, si es que lo tienen. Una fuente de pérdidas en las instalaciones industriales es el aislamiento de los equipos y de las tuberías que los interconectan.

Los digestores son equipos que pueden trabajar a temperaturas entre 55 y 60 °C, por lo que muchos utilizan aislamiento térmico, como los intercambiadores de calor. Sin un buen aislamiento, parte del calor suministrado se disiparía en el medio ambiente, aumentando la demanda de calor. Al aislar los digestores, las temperaturas permanecen más fácilmente en el rango deseado y se mejora la eficiencia del proceso. Esta medida se recomienda para los digestores con tantos años de funcionamiento.

5.7.3.2. OBJETIVO

La reducción de la pérdida de calor de los digestores.

5.7.3.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en la línea de lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los digestores de lodos

5.7.3.4. CASOS DE APLICACIÓN

Digestores con varios años de funcionamiento o en regiones de baja temperatura donde las pérdidas de calor son considerables.

5.7.3.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Características del aislamiento de corriente
- Características del aislamiento futuro
- Temperatura interior
- Temperatura ambiente
- Costo asociado con el aislamiento
- Costo de energía

5.7.3.6. AHORRO DE ENERGÍA

Con la implantación de esta solución se pueden conseguir ahorros de hasta un 10%, aunque es difícil establecer a priori el ahorro energético conseguido.

El ahorro de energía proviene de la reducción de la demanda de calor del equipo de calefacción para mantener la temperatura ideal dentro del tanque del digestor.

El aislamiento puede realizarse con materiales aislantes como poliestireno, poliuretano, fibra de vidrio, etc. Normalmente, el espesor del aislamiento se calcula de forma que se obtengan coeficientes de transferencia de calor de 2,16 a 3,6 $\text{kJ}/(\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C})$.

El cálculo del espesor del aislamiento debe ser tal que asegure el gradiente de temperatura adecuado, minimizando la inversión necesaria.

5.7.3.7. CASOS DE REFERENCIA

En la EDAR de Crispijana, diseñada para el tratamiento de 185.000 m³/día y 480.000 h.e., se realizó una impermeabilización integral con resinas, tanto en el interior como en el exterior de uno de los digestores (nº 3) y el aislamiento perimetral con espuma de poliestireno extruido del depósito para reducir los esfuerzos derivados de la diferencia de temperaturas.

Otras EDAR que también implementó esta solución fue la de Pinedo.

5.7.4. INYECCIÓN EN LA RED DEL BIOGÁS GENERADO

5.7.4.1. CONTEXTO

La inyección de biogás en la red es una tecnología que, sin embargo, todavía no se ha aplicado en muchos casos ni en España ni en Portugal. Ha habido una serie de dificultades debido a la falta de regulación y normalización en relación con la calidad y las condiciones del procedimiento de inyección de gas en la red.

El gas inyectado debe cumplir las condiciones impuestas por el Gestor Técnico del Sistema Gasista tanto en composición como en caudal, lo que a veces no es fácil debido al origen del biogás.

El biogás generado en las instalaciones de digestión anaeróbica tiene alrededor del 60% de metano, lo que permite su uso en calderas o sistemas de cogeneración. Pero para poder inyectar en la red, el CO₂ debe ser eliminado o convertido, obteniendo así biometano. Este proceso debe realizarse en plantas depuradoras, sin embargo, en la actualidad, el número de este tipo de instalaciones en Europa no supera las 500, ubicadas principalmente en Alemania y Austria.

5.7.4.2. OBJETIVO

La inyección de biogás generado en la EDAR en la red de gas.

5.7.4.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en la línea de lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los digestores de lodos.

5.7.4.4. CASOS DE APLICACIÓN

Inexistente.

5.7.4.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Producción de biogás
- Costo del gas generado
- Precio del gas

5.7.4.6. AHORRO DE ENERGÍA

En este caso, no se puede hablar de ahorro de energía porque no se reduce el consumo de energía de la planta de tratamiento. Se trata principalmente de un esfuerzo de recuperación de los residuos tratados en las plantas, incorporando energías renovables y mejorando la viabilidad económica de la planta de tratamiento y sus servicios.

5.7.4.7. CASOS DE REFERENCIA

ESPAÑA

En el marco de un proyecto desarrollado por Gas Natural Fenosa y Energylab, se instaló una planta depuradora de membrana para tratar un caudal aproximado de 1 Nm³/h en la EDAR de Bens para 400 Nm³/h de biogás.

Se trata de una planta piloto diseñada para determinar los parámetros óptimos de funcionamiento y las limitaciones y condiciones reales de la tecnología.

Otra EDAR en la que también se ha implantado esta solución es, por ejemplo, la planta de biogás de Valdemingómez.

PORTUGAL

En el marco de un proyecto realizado entre Aguas do Porto e INEGI, se ha realizado un estudio sobre la viabilidad técnica y económica de la transformación de parte del biogás producido en la EDAR de Freixo (350 400 m³/año) resultante de la digestión anaerobia de los lodos producidos en esta EDAR en biometano y su posterior inyección en la red de gas natural (GN), asegurando el cumplimiento de los requisitos técnicos, de calidad y de seguridad.

Su uso fue considerado para usos térmicos, tanto en el sector industrial como en los sectores doméstico y de servicios, abriendo también la posibilidad de su uso en el suministro de vehículos de GN (GN vehicular) en estaciones de servicio dedicadas.

En este estudio también se consideró que se estipulaba una tarifa de venta a la red comercializadora de esta empresa de servicios públicos, un caso similar al de la electricidad.

Como se ha mencionado anteriormente, para cumplir con los requisitos en términos de composición y energía, el biogás producido debe pasar por un proceso de tratamiento antes de ser inyectado en la red.

Por ello, y utilizando un software gratuito, Biomethane Calculator, desarrollado en el marco del proyecto europeo Biomethane Regions, cofinanciado por el programa Intelligent Energy Europe, se llevó a cabo un estudio comparativo que incluyó cuatro tecnologías de tratamiento: uso de membranas de permeabilización de gas, purificación por líquidos o aminas y adsorción por modelización de presión.

Además de un análisis cuantitativo de las corrientes de gas después del tratamiento y del volumen de gas producido, el software también permitió evaluar los costes incurridos con cada tecnología en términos de inversión y costes de explotación y mantenimiento.

Tabla 24. Estudio económico para diferentes tecnologías de biometanización

		Membrana de permeabilización de gas de recuperación media	Water Scrubbing	Amine Scrubbing	PSA
Inversión (€)		584.817,00	796.177,00	943.095,00	1.100.313,00
Costes de tratamiento	Amortización(€/año)	38.987,80	53.078,47	62.873,00	73.354,20
	Gastos de funcionamiento (€/año)	59.131,00	82.455,00	84.771,00	69.495,00
	Costes de propano (€/año)	19.994,00	20.625,00	21.038,00	20.625,00
	Otros costes químicos (€/año)	200,00	200,00	200,00	200,00
	Coste total anual (€/año)	118.312,80	156.358,47	168.882,00	163.674,20
Costes específicos	Por volumen de biogás (€/m ³)	0,4382	0,5501	0,6023	0,6036
	Por volumen de biometano (€/m ³)	0,6394	0,7782	0,8353	0,8538
Ingresos por la venta de biometano (€/año)		260.811,52	269.378,32	274.137,65	269.378,32
Ahorros realizados (€/año)		142.498,72	113.019,85	105.255,65	105.704,12
PRI (años)		3,22	4,79	5,61	6,14

Del estudio económico realizado se concluye que, aunque los flujos volumétricos de biometano de las diferentes tecnologías son muy similares, las membranas son la tecnología más económica por sus menores costes de inversión, mantenimiento y explotación.

5.7.5. MOTORES A GAS

5.7.5.1. CONTEXTO

A medida que aumenta el coste de la energía y el énfasis en las energías renovables, las autoridades locales y los municipios buscan soluciones que ahorren dinero y satisfagan las necesidades de las energías renovables. Los motores de gas (que funcionan con biogás in situ) proporcionan una solución de energía renovable que resulta en ahorros a largo plazo para la EDAR.

5.7.5.2. OBJETIVO

El uso de gas de digestión en motores de gas que sustituyen a los motores eléctricos.

5.7.5.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en la línea de lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los digestores de lodos y los motores.

5.7.5.4. CASOS DE APLICACIÓN

La EDAR con generación de biogás y con motores que pueden ser sustituidos por motores de gas.

5.7.5.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Producción de biogás
- Costos de motores de gas
- Consumo de energía del motor
- Coste de la energía eléctrica
- Horas de funcionamiento del motor
- Costo del gas generado

5.7.5.6. AHORRO DE ENERGÍA

Esta medida no supone una reducción en el consumo energético de la planta, sino la sustitución de los motores eléctricos, que funcionan con energía procedente de la red general, por motores que funcionan con combustible procedente de la recuperación de los residuos de la propia planta, cerrando el ciclo de optimización de los tratamientos realizados.

5.7.5.7. CASOS DE REFERENCIA

Otras EDAR que también han implementado esta solución son, por ejemplo: EDAR Nilothi, EDAR Dan Región o EDAR Mapocho-Trebal.

5.7.6. SECADO SOLAR DE LODOS

5.7.6.1. CONTEXTO

Para reducir el volumen de lodos en la EDAR existen diferentes tipos de procesos en función del grado de humedad final requerido: espesamiento, deshidratación y secado térmico.

El secado térmico es el método más utilizado, que alcanza tasas de secado de lodos de hasta el 90%. Además, el gasto energético asociado al proceso es muy elevado, y es habitual que el calor provenga de la combustión del gas natural, del propio biogás de la EDAR o de las bombas de calor.

El uso de tecnologías solares de secado de lodos puede reducir sustancialmente el gasto energético, y estos sistemas se basan normalmente en el secado por medio de un horno con dispositivos de ventilación y manipulación de lodos.

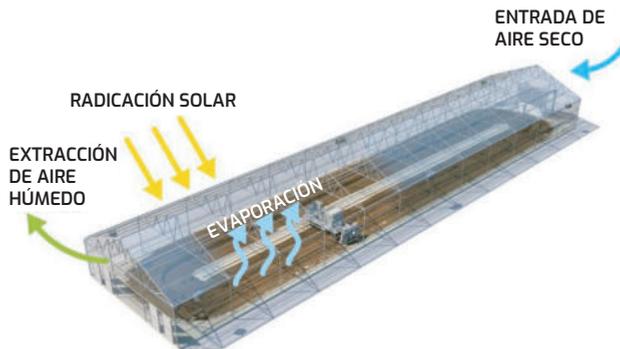


Figura 51: Instalación de secado solar de lodos. Fuente: Veolia Water Technologies

5.7.6.2. OBJETIVO

La implementación de un sistema de secado de lodos a partir de energía solar térmica.

5.7.6.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable en la línea de lodos

Los equipos afectados por esta medida de mejora son los del secado de lodos.

5.7.6.4. CASOS DE APLICACIÓN

Un sistema de secado solar térmico reduce los costes de operación y mantenimiento en comparación con un sistema convencional. Es aplicable en aquellas EDAR que tengan un coste elevado por el secado de los lodos y que dispongan de espacio para su instalación de este tipo, las dimensiones de la instalación dependerán no sólo de la radiación incidente en el emplazamiento de la EDAR, sino también del grado de secado deseado y de la velocidad de producción de los lodos.

5.7.6.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Datos de radiación solar
- Características de los lodos
- Volumen de lodos a tratar
- Características climáticas: temperatura, humedad, precipitación, viento....
- Humedad final deseada
- Uso final de los lodos

5.7.6.6. AHORRO DE ENERGÍA

Se puede lograr un ahorro del 80% si se implementa esta solución.

Una planta de secado solar de este tipo tiene un consumo medio de 20-30 -kWh/tonelada de agua extraída, relación que puede compararse con el consumo actual de una EDAR. Por ejemplo, un túnel de secado térmico con bombas de calor consumiría 510 kWh/tonelada evaporada.

5.7.6.7. CASOS DE REFERENCIA

La EDAR de Montana Blanca, con una capacidad de 3.000 m³/día y una producción de 260 toneladas de materia seca/año, instaló en 2007 un campo de secado solar, con una superficie de 700 m² y una capacidad total instalada de 14 kW de equipos.

Otras plantas de tratamiento de aguas residuales que también han implementado esta solución son, por ejemplo:

- Estación de Tratamiento de Aguas Residuales del Alto Iregua
- Instalación de Canut

5.7.7. MINIEÓLICA

5.7.7.1. CONTEXTO

La implantación de sistemas de energía eólica en instalaciones industriales para la autogeneración de electricidad es cada vez más atractiva debido a la disminución de los costes de fabricación de los aerogeneradores y al aumento del precio de la electricidad.

Las EDAR son instalaciones especialmente interesantes para la instalación de este tipo de tecnología, ya que consumen las 24 horas del día, por lo que, con una instalación correctamente dimensionada, se puede aprovechar toda la energía producida.

Las miniturbinas eólicas, aquellas con una potencia instalada inferior a 100 kW, se pueden clasificar en dos grupos: eje vertical y eje horizontal. Estos últimos son los más utilizados.

El uso de la energía eólica tiene la ventaja sobre la energía solar de que no sólo depende de lo que genera durante el día, sino que también tiene mayores costos de mantenimiento asociados.

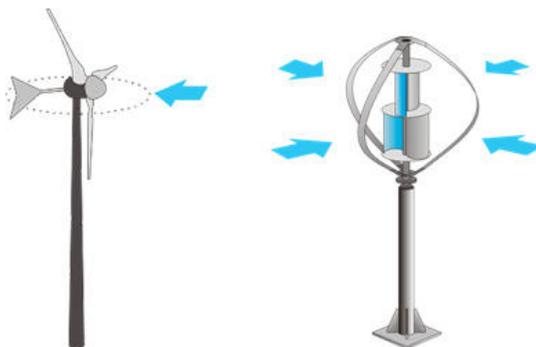


Figura 52: Turbinas de eje horizontal y vertical. Fuente: e-watt

5.7.7.2. OBJETIVO

La puesta en marcha de una planta de generación de energía eólica para cubrir las necesidades básicas de la EDAR.

5.7.7.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable a los procesos de producción de energía.

5.7.7.4. CASOS DE APLICACIÓN

Debido a las necesidades básicas de una EDAR, el uso de energías renovables aleatorias e intermitentes como la eólica o la solar son una opción a considerar. Con un dimensionamiento correcto se puede utilizar toda la energía producida por estas fuentes. El suministro de electricidad se garantizaría manteniendo la conexión con la red eléctrica, evitando así la instalación de baterías.

Para la instalación de un sistema minieólico, es imprescindible que la ubicación de la EDAR tenga unas condiciones de viento óptimas para obtener el mejor aprovechamiento de este recurso. Es importante conocer la velocidad media del viento así como su distribución. Además, es esencial poder disponer de una zona libre de obstáculos en las direcciones predominantes del viento para evitar turbulencias no deseadas.

5.7.7.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Velocidad media del viento
- Distribución de velocidad
- Precio de la electricidad
- Requerimientos energéticos de la planta de tratamiento

A diferencia de la energía solar, no hay uniformidad por área del recurso eólico.

El análisis del recurso eólico disponible es complejo y debe ser realizado por empresas especializadas.

Para orientar sobre la disponibilidad eólica y la producción prevista en la zona, se pueden utilizar las bases de datos disponibles, como el Atlas Eólico Español desarrollado por el IDAE. En el caso de Portugal, existe el mismo

tipo de empresas, que hacen el mismo tipo de previsión en cuanto a la disponibilidad de este recurso y sus características (por ejemplo, Prewind).

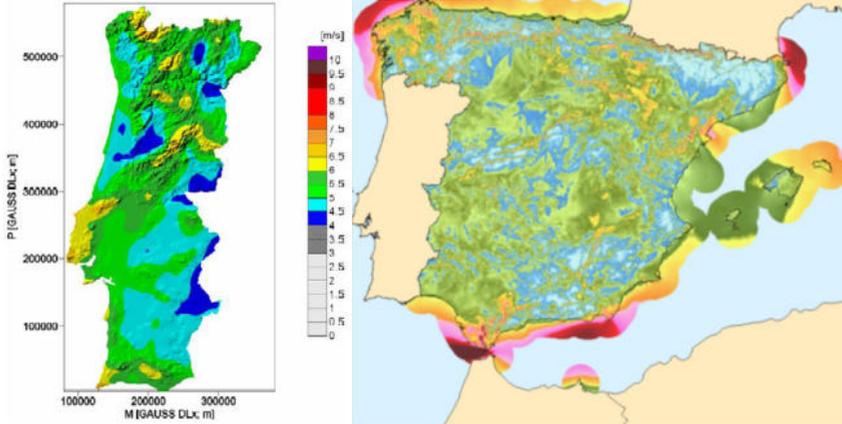


Figura 53: Atlas Eólico de Portugal y España

5.7.7.6. AHORRO DE ENERGÍA

Con la aplicación de esta medida se puede lograr un ahorro del 10% o incluso más. Cuanto mayor es la capacidad instalada, mayor es la producción en los lugares donde hay recurso eólico y mayores son los ahorros. Sin embargo, también está claro que será necesaria una mayor inversión, por lo que es importante encontrar un equilibrio entre inversión y ahorro y, además, evitar instalaciones de gran tamaño.

Para poder evaluar técnica y económicamente esta mejora debe llevarse a cabo:

- Análisis de la curva de demanda eléctrica
- Análisis de la distribución de los costes de energía eléctrica según los períodos
- Análisis de disponibilidad del recurso eólico
- Dimensionamiento de la central eólica, determinando la potencia a instalar necesaria para generar el máximo ahorro, es decir, para cubrir un alto porcentaje de las necesidades de la EDAR, ya que estas instalaciones están diseñadas para el autoconsumo.
- Cálculo del ahorro energético en función del recurso disponible y de la potencia de la instalación

- Cálculo del ahorro económico anual teniendo en cuenta el coste de la energía para cada periodo, la disminución de la potencia contratada y los costes de mantenimiento.
- Cálculo de variables económicas como el VAN (Valor Neto Anual), TIR (Tasa Interna de Retorno) y el período de retorno de la inversión.

Existen herramientas como el Atlas Eólico Español que permiten una primera estimación de la producción esperada para el caso de un aerogenerador de 100 kW.

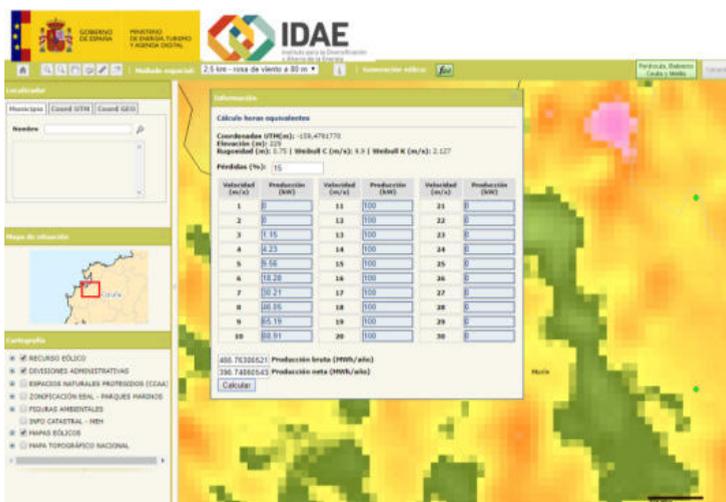


Figura 54: Cálculo de la producción utilizando el Atlas Eólico Español

5.7.7.7. CASOS DE REFERENCIA

En el proyecto Life RENEWAT se instaló en la EDAR de Archena un sistema de energías renovables de autoconsumo, compuesto por 100 kW de energía fotovoltaica y un aerogenerador de 5 kW, que alimenta una EDAR y una bomba de exceso de lodos aislada de la red.



Figura 55: Instalación de EDAR renovable de Archena. Fuente: RENEWAT

También en el marco de un proyecto europeo, RETALER II, se han instalado 4 minicentrales eólicas en 4 pequeñas estaciones: Touza, Baltar, Monterrei y Sandias y Ourense, aprovechando el hecho de que en esta zona de Galicia hay unas 1800 horas equivalentes.



Figura 56: Instalación eólica na ETAR de Baltar. Fuente: Proyecto RETALER II

5.7.8. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

5.7.8.1. CONTEXTO

Los paneles solares fotovoltaicos convierten directamente la radiación solar en energía eléctrica limpia y renovable sin emisiones, ruido ni contaminación. La energía solar fotovoltaica es una tecnología madura con cientos de GW de potencia instalada en todo el mundo y compite en el nivel de los

costes de producción con las fuentes tradicionales de generación. No tiene componentes móviles y por lo tanto requiere un mantenimiento mínimo.

Las depuradoras son especialmente interesantes para la instalación de este tipo de tecnología porque tienen un consumo permanente durante todo el día y todos los días del año, de forma que, con una instalación solar correctamente dimensionada, se puede aprovechar toda la energía producida por la instalación fotovoltaica, maximizando así los beneficios obtenidos.



Figura 57: Instalación fotovoltaica na ETAR de *Copero* (Sevilla) e ETAR de *Torremayor* (Badajoz)

5.7.8.2. OBJETIVO

El objetivo de esta solución es la implantación de una instalación solar fotovoltaica con el objetivo de reducir el consumo de energía eléctrica de la instalación.

Debido al carácter transnacional de este proyecto y a las diferentes condiciones regulatorias de cada país en cuanto a la venta de energía a la red, en este apartado se analizarán las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo sin venta de energía eléctrica, es decir, dimensionadas para cubrir las necesidades básicas de la planta de tratamiento y que no inyectan energía a la red.

5.7.8.3. CASOS DE APLICACIÓN

Debido a las necesidades básicas permanentes de una EDAR, el uso de energías renovables aleatorias e intermitentes como la solar fotovoltaica es una opción interesante a considerar. Con un dimensionamiento correcto basado en la necesidad básica será posible utilizar toda la energía producida por estas fuentes.

La siguiente figura muestra las necesidades energéticas horarias (kWh) durante la primera semana del año de una depuradora gallega diseñada para tratar 48.000 habitantes equivalentes al proyecto y con un caudal diario de 12.000 m³/día. Como se puede ver, la necesidad de la planta de tratamiento es considerable a lo largo del período.

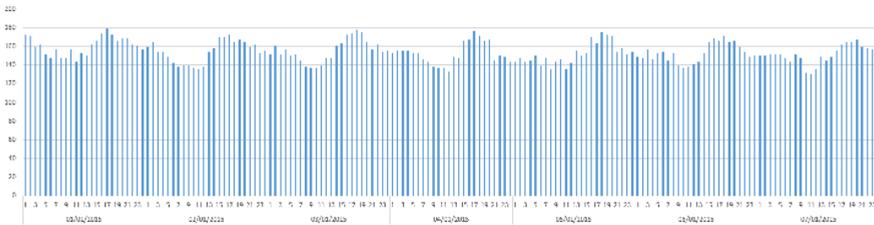


Figura 58: Consumo energético de una EDAR de Galicia durante una semana.

Unas condiciones de radiación más favorables se traducen en una mayor producción de energía, por lo que debe consultarse un mapa de radiación solar en el emplazamiento de la estación a la hora de estudiar la viabilidad técnica y económica de la instalación solar. Además, se debe considerar la presencia de sombra en el espacio disponible de la planta de tratamiento, limitando así el tamaño de la instalación solar.

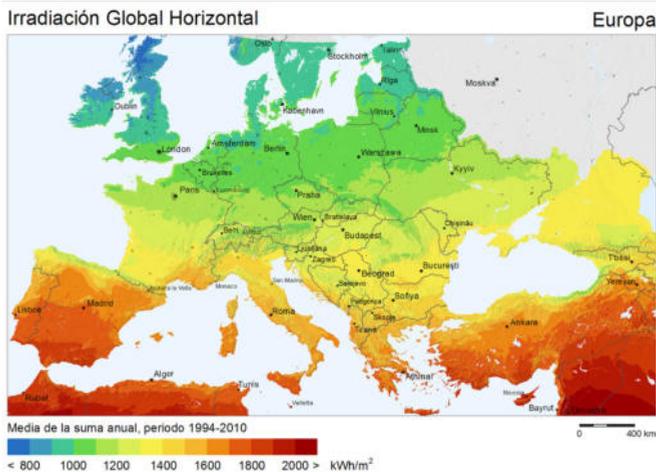


Figura 59: Mapa de irradiación horizontal recibido en Europa.

La figura anterior muestra la situación privilegiada de España y Portugal en términos de kWh/m² de radiación horizontal recibida en comparación con otros países europeos.

5.7.8.4. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

- Necesidad básica de la planta de tratamiento.
- Datos de radiación en el emplazamiento de la planta de tratamiento.
- Precio de compra de la electricidad por la EDAR.
- Costes de inversión y mantenimiento.

5.7.8.5. AHORRO DE ENERGÍA

Se pueden lograr ahorros de hasta un 15% implementando esta solución. Para conocer el ahorro energético que puede suponer una instalación fotovoltaica, es necesario realizar el siguiente procedimiento.

- Análisis de la curva de demanda de energía eléctrica
- Análisis de la distribución de los costes de electricidad por períodos tarifarios
- Análisis de la radiación incidente en la zona y dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica para generar el máximo ahorro (en este caso teniendo en cuenta que la instalación no vende energía a la red).
- Cálculo del ahorro energético en función de la radiación incidente y del tamaño de la instalación
- Cálculo del ahorro económico anual teniendo en cuenta el coste de la energía para cada periodo, la disminución de la potencia contratada y los costes de mantenimiento.
- Cálculo de variables económicas como el VAN, TIR y periodo de retorno de la inversión.

La siguiente figura presenta un gráfico del flujo de caja acumulado para una inversión en una instalación fotovoltaica sin inyección a red de 7 kW, para las hipótesis de un coste de mantenimiento de 183 €/año, un IPC eléctrico del 4% y unas pérdidas anuales de ingresos del 0,3%. Con estos supuestos, se obtiene un período de amortización significativamente inferior a 8 años y una TIR del 10,3%.

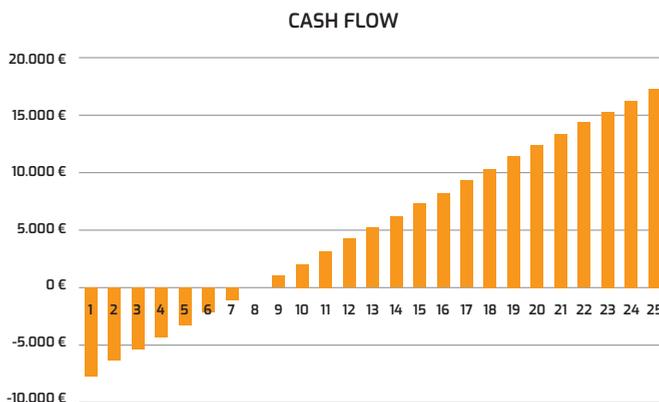


Figura 60: Flujo de caja acumulado para una instalación fotovoltaica de 7 kW.

5.7.8.6. CASOS PILOTO DEL PROYECTO AQUALITRANS

En el marco del proyecto AQUALITRANS, se ha realizado una planta fotovoltaica en la EDAR de Cedeira, con una potencia instalada de 20,35 kWp, con la perspectiva de que la producción de energía se dirija hacia el autoconsumo, sin previsión de instalación de baterías, y manteniendo la conexión con la red general. La planta contaba con 74 paneles policristalinos instalados, con una inclinación de 35° y un inversor de 20 kW. La producción anual esperada se estima en 24.500 kWh, por lo que, considerando que las necesidades de consumo energético de la EDAR son de 335.578 kWh, se espera que el ahorro energético sea del 7,2%.



Figura 61. Instalación fotovoltaica realizada en la EDAR de Cedeira.

5.7.9. USO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

5.7.9.1. CONTEXTO

El uso de la energía potencial y cinética del agua para su transformación en energía eléctrica es una práctica comúnmente utilizada. En muchas estaciones existen diferencias entre niveles, donde esta energía puede ser transformada en energía eléctrica mediante el uso de una turbina. Se trata de una energía limpia, con bajos costes de explotación y alta disponibilidad, aunque los costes de mantenimiento pueden ser elevados, por lo que es necesario realizar un estudio de viabilidad detallado para cada caso.

5.7.9.2. OBJETIVO

La instalación de turbinas capaces de obtener parte de la energía cinética y/o energía potencial del agua que entra o sale de la EDAR.

5.7.9.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable a los procesos de producción de energía.

5.7.9.4. CASOS DE APLICACIÓN

Hay dos lugares donde se puede instalar este tipo de equipos:

- A la entrada de la EDAR, siempre que esté situada a un nivel inferior al de la red de saneamiento. En este caso, como el agua aún no ha sido tratada, será necesario elegir una turbina diseñada para agua bruta y también será necesario pretratarla antes de la turbina.
- A la salida de la EDAR, en el efluente, cuando existe una diferencia de cuotas entre la entrada de la EDAR y la salida, ya que se trata de agua tratada, los requerimientos de la turbina son menores.

5.7.9.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Diferencia de cuota
- Flujo

5.7.9.6. AHORRO DE ENERGÍA

Con la aplicación de esta medida se puede lograr un ahorro del 3%.

5.7.9.7. CASOS DE REFERENCIA

Un ejemplo de proyecto de aplicación de esta medida es la EDAR de La Cartuja (Zaragoza), donde se está llevando a cabo el proyecto de aprovechamiento del desnivel de 8,50 m entre la desembocadura del agua depurada y el borde del río Ebro. En este caso, la EDAR se construyó a una altura superior a la del río para protegerlo de las inundaciones. La producción de energía prevista en virtud de esta medida será de aproximadamente 685 000 kWh al año.

Otra EDAR que también ha implementado esta solución es, por ejemplo, la EDAR de Cartelle.

5.8. ILUMINACIÓN

5.8.1. MEJORA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

5.8.1.1. CONTEXTO

Las tecnologías de iluminación más comunes que se encuentran en las EDAR (de menor a mayor eficiencia) son:

- Incandescente
- Halógeno
- Fluorescentes compactos
- Tubos fluorescentes
- Halógenos metálicos
- Sodio de baja presión
- LED

Las nuevas tecnologías presentan mejores relaciones Im/W y, por lo tanto, reducen el consumo de energía. Aunque la potencia instalada del alumbrado de la EDAR no es significativa, existen luminarias que funcionan durante un gran número de horas y el ahorro de energía mediante el uso de tecnologías de mayor rendimiento puede ser apreciable.

En los últimos años, el desarrollo de la tecnología LED ha puesto en el mercado luminarias y lámparas que son muy eficientes, fiables, de

larga duración, ajustables y consumen menos del 20% de las luminarias tradicionales.

5.8.1.2. OBJETIVO

La sustitución de luminarias existentes por otras de mayor rendimiento.

5.8.1.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable a los sistemas de iluminación

El equipo afectado por esta medida de mejora son las luminarias.

5.8.1.4. CASOS DE APLICACIÓN

Es una medida aplicable a todos los centros que utilizan sistemas de iluminación ineficientes.

Dependiendo fundamentalmente de la tecnología y del número de horas de funcionamiento anuales de las luminarias a analizar, los períodos de retorno de la inversión pueden ser más o menos atractivos.

5.8.1.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Tecnología de luminarias
- Horas de uso
- Potencia instalada
- Coste de la energía eléctrica

5.8.1.6. AHORRO DE ENERGÍA

Con la implementación de esta solución se pueden conseguir ahorros de hasta un 40%.

Para un simple cálculo de los ahorros, es posible determinar la potencia instalada en el equipo existente y que resultaría después de la sustitución por LED. A partir de aquí, basta con establecer un consumo (en función del número de horas de funcionamiento) y su coste.

Tabla 25. Potencias equivalentes en función de la tecnología

Potencias equivalentes (W)		
Incandescencia Halógenos	Bajo Consumo Fluorescentes	Lámparas LED
10	-	1
20	-	3
25	-	5
35	-	7
60	20	10
80	24	12
100	30	15
150	40	20

Supongamos, por ejemplo, una planta de tratamiento con el siguiente equipo de iluminación.

- 4 tubos fluorescentes de 30 W instalados en las salas de control, que funcionan 10 h/día
- Bombillas de bajo consumo de 20 W en los baños con un tiempo de funcionamiento diario de 3 horas.
- 10 focos halógenos de exterior de 100 W de potencia cada uno, con un tiempo medio de funcionamiento de 8 h/día.

El consumo anual de este equipo se puede calcular aproximadamente:

Consumo (kWh) = Capacidad instalada x horas de funcionamiento
 $(4 \times 30 \times 10 + 6 \times 20 \times 3 + 10 \times 100 \times 8) \times 365 / 1000 = 3\,489,4$ kWh/año

Si los reemplazas por el equivalente en LED:

Consumo (kWh) = $(4 \times 15 \times 10 \times 10 + 6 \times 10 \times 3 + 10 \times 15 \times 8) \times 365 / 1.000 = 722,7$ kWh/año

El resultado es un ahorro de energía anual de 2.766,7 kWh/año. Si se considera un coste eléctrico de 0,12 €/kWh, el ahorro económico sería de unos 335 €/año. Al tratarse de una medida de bajo coste, inferior a 2.000 euros, el periodo de retorno de la inversión inicial es muy corto.

5.8.1.7. CASOS DE REFERENCIA

El proceso de tratamiento de la estación depuradora de aguas residuales de La Hoya es una planta de tratamiento de lodos activados de dos etapas con digestión anaerobia y desinfección UV, diseñada para una población de 80.000 habitantes equivalentes. En esta EDAR las mejoras en el alumbrado

han supuesto un ahorro eléctrico de 5.968 kWh/año, que suponiendo un coste de 0,15 €/kWh, superan los 715 €/año.

Otras EDAR que también ha implementado esta solución son, por ejemplo, La Cartuja y Dos Hermanas

5.9. SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA MONITORIZACIÓN ENERGÉTICA

5.9.1. PLATAFORMA DE MONITORIZACIÓN Y SUPERVISIÓN ENERGÉTICA

5.9.1.1. CONTEXTO

En el mercado actual existe una amplia gama de soluciones para monitorizar el consumo eléctrico en una empresa/edificio/instalación. Estas soluciones son plataformas que permiten la gestión, seguimiento y control no sólo de los diferentes consumos sino también de la facturación.

Los sistemas de gestión de consumos permiten la gestión, seguimiento y control de consumos y facturación de energía. La estructura principal de estas plataformas está compuesta por: medidores, un sistema de comunicación que puede ser cableado o inalámbrico, concentrador de los datos registrados en un servidor donde se procesa y almacena toda la información registrada por los medidores.

La visualización de la información se puede realizar a través de un PC, portátil, teléfono móvil, etc. que se puede conectar a un servidor a través de Ethernet, WiFi, GPRS/3G.

Entre otras características, los sistemas de monitorización del consumo de energía permiten:

- Monitorear y mostrar todos los datos de consumo de energía en línea en tiempo real las 24 horas del día y los 365 días del año.
- Supervisar y controlar de forma centralizada el consumo de energía
- Obtener datos históricos y perfiles de carga de la instalación
- Comparar las facturas de la instalación, especialmente las eléctricas.
- Asignar costos de energía por área, instalación, etc.
- Determinar los costes por unidad de medida de consumo
- Actuar sobre los componentes de consumo del edificio en tiempo real
- Mejorar la sostenibilidad y reducir las emisiones de CO₂

5.9.1.2. OBJETIVO

Instalación de un sistema de monitorización energética para el análisis de los flujos de energía y de las condiciones de consumo en la EDAR.

5.9.1.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable a todos los procesos de la EDAR.

5.9.1.4. CASOS DE APLICACIÓN

Los sistemas de monitorización no conducen directamente a un mayor ahorro de energía, sino que proporcionan información muy valiosa para guiar al gerente de la estación en la que debe actuar.

En general, los ahorros de energía logrados por estos sistemas se deben a la mejora de la gestión de la facturación, la verificación de errores de facturación, la detección de exceso de reactividad y potencia, y la detección y alerta adicional de la variación del consumo en comparación con los valores normales.

5.9.1.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Consumo energético de la instalación
- Principales circuitos de consumo
- Intensidades de los circuitos a analizar.

5.9.1.6. AHORRO DE ENERGÍA

El tipo, la gestión y el tamaño de la instalación influyen directamente en las desviaciones de consumo que se pueden detectar, por lo que el ahorro puede ser muy variable entre el 3 y el 15%.

5.9.1.7. CASOS PILOTO EN EL MARCO DEL PROYECTO AQUALITRANS

Como parte del proyecto AQUALITRANS, se instalaron bloques digitales trifásicos de analizadores de energía eléctrica para cargas equilibradas, asociados a los transformadores de corriente necesarios y conectados mediante una red automática de transmisión de datos al sistema de supervisión de la instalación.

Esta medida se ha llevado a cabo en las 5 depuradoras en estudio en Galicia y también se ha aplicado en la depuradora de Sobreiras, en Portugal.

En este caso, se espera un ahorro energético de 331.556 kWh/año y un ahorro económico de 33.315 €/año. Los bloques de análisis de energía eléctrica de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Sobreiras se colocaron en los equipos de mayor consumo energético, concretamente en compresores de aireación, bombas de elevación inicial, bombas de recirculación de lodos, ventiladores de desodorización, bombas de recirculación de torres de desodorización y centrífugas de lodos.



Figura 62. Analizador de energía instalado en la EDAR de Sobreiras.

También dentro del proyecto AQUALITRANS se desarrollaron herramientas de apoyo para los responsables de este tipo de instalaciones.

Una de las herramientas incluye la integración de la información recogida en el seguimiento energético de las 5 depuradoras gallegas y 1 depuradora portuguesa, sujetas a la instalación de contadores de energía para el seguimiento energético.

La herramienta puede consultarse en: <http://aqualitrans.itg.es/>.

Otras herramientas se pueden encontrar en el mismo sitio web. Una herramienta SIG, relacionada con la caracterización energética y de proceso de las 173 EDAR de Galicia y Norte de Portugal, considerada en el estudio ampliado del proyecto AQUALITRANS, al que se hace referencia en el apartado 2 de este documento, y otra herramienta de autodiagnóstico online, que permite simular un diagnóstico de una determinada EDAR a partir de los datos introducidos en el sistema por el usuario.



Figura 63. Herramienta de monitorización. Panel de indicadores para el seguimiento en tiempo real.

5.10. AJUSTE DE LA POTENCIA CONTRATADA

5.10.1. AJUSTE DE LA POTENCIA CONTRATADA

5.10.1.1. CONTEXTO

El término potencia tiene un peso considerable en la factura eléctrica, por lo que es necesario ajustar la potencia contratada a lo que realmente requiere la instalación. Muchas plantas de tratamiento de aguas residuales han contratado una energía que no se ajusta a sus necesidades reales, y ya sea por exceso o defecto de la energía contratada, pueden estar incurriendo en costos o penalidades innecesarias.

Es importante comparar la potencia contratada con el valor de la potencia en el maxímetro, que indica la potencia máxima registrada para el periodo correspondiente durante el mes indicado, para poder detectar si existe algún potencial de ahorro adaptando la potencia contratada al perfil de consumo.

5.10.1.2. OBJETIVO

Evaluación de la potencia real requerida de una EDAR y cálculo de la potencia óptima a contratar.

La realización de procesos intensivos en energía en los periodos horarios con el menor coste. Reducción del consumo de energía durante las horas punta.

5.10.1.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable a todos los procesos de la EDAR.

5.10.1.4. CASOS DE APLICACIÓN

Todas aquellas EDAR en las que las facturas muestran desviaciones positivas o negativas entre la potencia contratada y las lecturas de potencia máxima requerida tomadas por los maxímetros.

Siempre que la actividad productiva lo permita, sería interesante que aquellas tareas cuyo consumo tenga un alto peso sobre el total de la instalación se realicen en los períodos tarifarios más baratos.

En las estaciones de aguas residuales es posible aplicar una diferencia de carga como la deshidratación, la aireación o ciertos bombeos como la recirculación de lodos. Esta medida debería analizarse más a fondo desde un punto de vista operativo antes de que pueda aplicarse.

5.10.1.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA EVALUAR LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Potencia contratada
- Lectura del Maxímetro
- Tarifa contratada
- Energía consumida
- Horas de funcionamiento
- Tarifa kWh según períodos

5.10.1.6. AHORRO DE ENERGÍA

La medida no implica ninguna variación en la energía activa consumida, aunque sí implica un ahorro económico debido a las diferentes tarifas de kWh.

5.10.1.7. CASOS DE REFERENCIA

Algunas plantas de tratamiento que han implementado esta solución son, por ejemplo:

- EDAR de Empuriabrava
- EDAR de Murcia
- EDAR de Martorell

5.10.2. TRASLADO DE LA CARGA A PERÍODOS TARIFARIOS MÁS BARATOS

5.10.2.1. CONTEXTO

Los contratos relacionados con el suministro de electricidad a los que normalmente se asignan las plantas de tratamiento no presentan un precio constante de kWh durante el día, pero este precio varía en función del período del día en el que se consume la electricidad.

Normalmente, los tipos más comunes de contratos entre empresas de este sector se dividen en 3 o 6 períodos. Los períodos más baratos son los que ocurren cuando el consumo es generalmente bajo y los períodos más caros cuando es más alto.

La diferencia entre el precio de los kWh entre el período más barato y el más caro puede alcanzar una cantidad considerable, en las EDAR analizadas si alcanza precios en el período nocturno alrededor de un 50% más baratos que los precios en el período pico.

5.10.2.2. OBJETIVO

Realizar los procesos de alto consumo energético en los periodos horarios con un menor coste de kWh. Reducir el consumo de energía durante las horas punta.

5.10.2.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable a todos los procesos de la EDAR.

5.10.2.4. CASOS DE APLICACIÓN

Siempre que la actividad productiva lo permita, sería interesante que aquellas tareas cuyo consumo tenga un peso importante sobre el total de la instalación se realicen en los períodos tarifarios más baratos.

En las EDAR, se pueden considerar cargas como la deshidratación, la aireación o ciertas operaciones de bombeo como la recirculación de lodos..

5.10.2.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que deben tenerse en cuenta para la evaluación de la medida son:

- Energía consumida
- Horas de funcionamiento

- Tarifa kWh según periodo

5.10.2.6. AHORRO DE ENERGÍA

La medida no implica ninguna variación en la energía activa consumida, pero sí un ahorro económico debido a la diferencia de precios de los kWh.

5.10.2.7. CASOS DE REFERENCIA

ESPAÑA

Entre las depuradoras que estudian esta reorganización del consumo se encuentran la depuradora de Os Tilos y la depuradora de Pontevedra..

PORTUGAL

En la EDAR de Freixo, el proceso de deshidratación y espesamiento de lodos está restringido a los fines de semana y festivos (viernes, sábado y domingo) en los que predominan los períodos de vacío y sobrevacío y en los días laborables la explotación de este sector se realiza únicamente en los períodos nocturnos en los que se encuentran los mismos períodos de facturación.

Este trabajo intensivo de este sector en estos períodos tiene como objetivo principal la reducción de los costes energéticos.

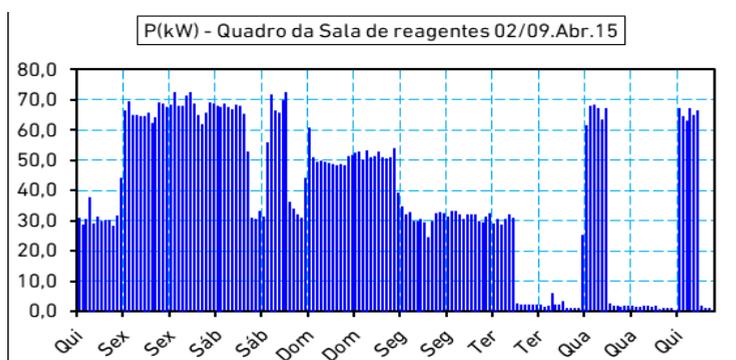


Figura 64 - Diagrama semanal de carga del sector de deshidratación y espesamiento de lodos

Las mesas de espesamiento y deshidratación tienen controladores electrónicos integrados y, por lo tanto, están optimizadas energéticamente.

5.10.3. AJUSTE DEL FACTOR DE POTENCIA

5.10.3.1. CONTEXTO

La energía reactiva, que no produce trabajo físico directo sobre el equipo, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable, el requerimiento de potencia reactiva también es significativo, produciendo una disminución en el factor de potencia, es decir, un retardo en la onda de tensión e intensidad. Un factor de potencia de 1 indica que se está utilizando toda la energía consumida. Las lámparas fluorescentes tienen un factor de 0,5 y un motor asíncrono al 100% de la carga no supera los 0,85. El hecho de que exista un factor de potencia bajo representa una serie de desventajas para el consumidor de energía:

- Aumento de la intensidad de corriente
- Pérdidas en los conductores y caídas de tensión severas
- Aumento de la potencia de instalaciones y transformadores, reducción de su vida útil y de la capacidad de conducción de los conductores.
- La temperatura de los cables aumenta, disminuyendo la vida útil de sus aislamientos.
- Aumento de las facturas por el consumo de electricidad. Las compañías eléctricas cobran por el consumo de energía reactiva, incluso si esta energía no se utiliza realmente.

Para evitar estos problemas, es necesario corregir el consumo de energía reactiva mediante condensadores. La batería de condensadores es un equipo de compensación automática que debe ser capaz de ajustar las variaciones de potencia de la reactiva de la instalación para mantener el objetivo de la instalación por encima de 0,95.

5.10.3.2. OBJETIVO

Reducción del consumo de energía reactiva mediante la instalación de baterías de condensadores.

5.10.3.3. PROCESOS Y EQUIPOS AFECTADOS

La solución descrita es aplicable a todos los procesos de la EDAR que consuman electricidad.

5.10.3.4. CASOS DE APLICACIÓN

La compensación de potencia reactiva debe realizarse en aquellas instalaciones con factores de potencia inferiores a 0,95 (inductivo).

5.10.3.5. DATOS CLAVE NECESARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDIDA

Los datos que debe tener en cuenta para la evaluación de la medida son la Energía activa consumida y la Energía reactiva consumida

La forma más sencilla de probar este consumo reactivo es a partir de las facturas de consumo emitidas por la empresa de distribución.

5.10.3.6. AHORRO DE ENERGÍA

La medida no supone ninguna variación en la energía activa consumida, sin embargo representará un ahorro económico debido a la reducción de las penalizaciones derivadas del consumo de la energía reactiva.

5.10.3.7. CASOS DE REFERENCIA

ESPAÑA

Entre las EDAR que han implementado esta solución están la EDAR de Martorrel y la de Ceuta

PORTUGAL

En La EDAR de Freixo para compensar la energía eléctrica reactiva consumida, dispone de sistemas automáticos de compensación acoplados a los cuadros generales de baja tensión, instalados en armarios propios y controlados por relés varimétricos. Como se puede observar en la figura, existe una compensación efectiva en los períodos de descarga, siendo el valor del factor de potencia de 1 a lo largo del año.

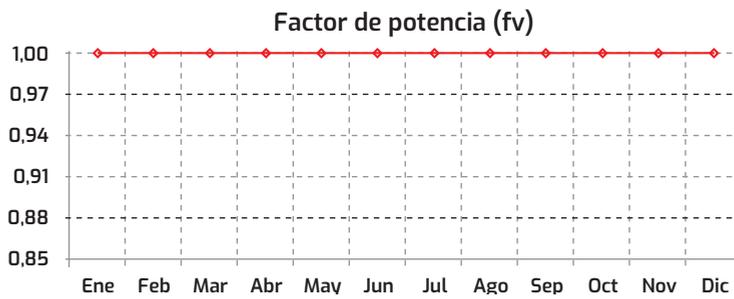


Figura 65 - Evolución mensual del factor de potencia medio (en vacío/2014)

La EDAR de Sobreiras también tiene el mismo sistema de compensación de energía reactiva, sin embargo, los valores del factor de potencia varían entre 0,95 y 1 a lo largo del año.

6. SOLUCIONES INNOVADORAS APLICADAS EN LA ACTUALIDAD

Dentro de la Guía de Soluciones Tecnológicas para la Eficiencia de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, se ha incluido un breve apartado sobre la presentación de soluciones innovadoras y nuevas tecnologías emergentes que se están investigando, desarrollando y, en muchos casos, aplicando en experimentos piloto en el marco de las estaciones depuradoras de aguas residuales.

El objetivo de la Guía no es profundizar en los aspectos técnicos de cada solución innovadora implementada, sino más bien proporcionar una descripción básica de las nuevas soluciones que se están investigando y poniendo en práctica, para facilitar la documentación de referencia para la consulta, en caso de que se requiera un mayor grado de profundidad para la solución analizada.

Las soluciones contempladas se centran en la aplicación de nuevas soluciones en los procesos de tratamiento de las EDAR que tengan un impacto positivo en la eficiencia del proceso de tratamiento y, en consecuencia, en la reducción del coste energético global del proceso.

6.1. MAXIMIZACIÓN DE LA CAPTURA DE SÓLIDOS Y MATERIA ORGÁNICA EN LA SEDIMENTACIÓN PRIMARIA

Desde un punto de vista estricto del aprovechamiento de la energía contenida en las aguas residuales, la investigación en curso tiende a favorecer el tratamiento primario con una desviación de la carga orgánica máxima hacia la digestión anaeróbica según WERF. Las ventajas señaladas para estas soluciones son, además de una mayor producción de gas en la digestión anaeróbica, el ahorro de energía en los procesos de aireación aguas abajo.

La Hoja de Ruta de la Water Environment Research Foundation (WERF) prevé incluso la inversión en procesos avanzados de sedimentación primaria, utilizando la asistencia en procesos físico-químicos y la aceleración con balastos.

Se están instalando y desarrollando tecnologías de decantación acelerada y laminar, con el uso de reactivos y la recirculación de lodos o arena micrométrica. Se trata de un proceso cuyas eficiencias se aproximan a las del tratamiento secundario convencional (siempre que se cumplan determinadas condiciones) y que, debido a las altas velocidades de decantación permitidas (ahorro de espacio de instalación) y a la rapidez y facilidad de puesta en marcha y estabilización del proceso, están adquiriendo relevancia en el tratamiento de los caudales sobrantes en sistemas con alta aportación pluviométrica.

6.2. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS INNOVADORES

6.2.1. TRATAMIENTO ANAERÓBICO UASB

Los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) han sido adoptados para el tratamiento de aguas residuales urbanas, especialmente en climas cálidos, debido a sus bajos costos de inversión y operación.

Comenzaron a desarrollarse en los años 70 con aplicación en el tratamiento de aguas residuales industriales altamente concentradas, inicialmente en la industria azucarera, mostrando ventajas en términos de baja producción de lodos, huella reducida, bajo consumo de energía y su potencial para la producción de biogás. Estas ventajas han fomentado la investigación sobre la aplicación de esta tecnología a las aguas residuales urbanas en países tropicales como Brasil, Colombia e India.

Aunque esta tecnología no puede, por sí sola, obtener un efluente de calidad de acuerdo con los requisitos actuales de calidad de vertido, permite eliminar una parte significativa de la carga orgánica a un coste inferior al de las soluciones convencionales y puede complementarse con tratamientos de tuning.

Las limitaciones actuales de esta tecnología, que justifican la investigación en desarrollo, están relacionadas con las dificultades de su combinación con la eliminación de nutrientes y con la cuantificación y tratamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI asociados). Esta tecnología también promueve la formación de sulfuro de hidrógeno, con impactos en la seguridad del personal y de las instalaciones, la corrosión de las estructuras y la liberación de olores para los que se requieren medidas de mitigación.

6.2.2. TRATAMIENTO DE LOS LICORES SOBRENADANTES Y DE LOS FILTROS DE TRATAMIENTO DE LOS LODOS.

La concentración de amoníaco en los digestores tiene dos orígenes esenciales, el amoníaco presente en los lodos que entran en el digestor y el resultante de la conversión de sólidos volátiles durante la digestión. La concentración de amoníaco se eleva hasta el equilibrio con la alcalinidad en una relación obtenida empíricamente de 3,3 CaCO_3 a 1 amoníaco.

Los lodos pretratados con hidrólisis térmica entran en los digestores con concentraciones de sólidos de alrededor del 11%, muy superiores a los lodos espesados no pretratados (que entran en la digestión con una concentración de alrededor del 4 al 6%). Esta mayor concentración, combinada con una mayor destrucción volátil, hace que la digestión de lodos pretratados con hidrólisis térmica tenga un potencial de producción de amoníaco mucho mayor que en una solución convencional y, por lo tanto, la concentración de amoníaco en el “licor” es mucho mayor. Sin embargo, como los volúmenes de “licores” generados son inferiores, la carga total de amoníaco es similar a la producida por la digestión de los lodos no sometidos a dicho pretratamiento.

El tratamiento de estos “licores” y licores filtrados, con oxidación de amoníaco en condiciones energéticas muy favorables, antes de su retorno a la entrada de la planta de tratamiento, permite un ahorro significativo en la energía de aireación de los reactores biológicos.

Este tratamiento se ha realizado en base a la utilización de procesos biológicos de bajo consumo energético. Estos procesos utilizan la bacteria ANAMOX, que oxida el amoníaco directamente a gas nitrógeno, utilizando nitrito como receptor de electrones, sin necesidad del sustrato de carbono requerido por los procesos convencionales de desnitrificación.

La aplicación de este tratamiento también está enfrentando dificultades asociadas con el lento crecimiento de la bacteria ANAMOX, que requiere grandes reactores.

Investigaciones recientes sugieren la posibilidad de que las bacterias ANAMOX se agreguen en escamas más pesadas, permitiendo su separación de los lodos y evitando su remoción del proceso en exceso de lodos y permitiendo así soluciones para la acumulación de estos microorganismos en reactores. Esta posibilidad puede permitir el uso de esta bacteria en procesos biológicos de remoción de nutrientes, lo que naturalmente se traducirá en un alto ahorro de energía.

6.3. TRATAMIENTOS DE LODOS ANTES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

La eficiencia de la digestión anaeróbica, tanto en términos de reducción de sólidos volátiles como en términos de producción de biogás, puede mejorarse mediante la aplicación de pretratamientos en los lodos a digerir. La deshidratación de los lodos digeridos también mejora significativamente debido a la reducción de su viscosidad, disminuyendo el consumo de energía y reactivos en la deshidratación y mejorando la concentración de lodos deshidratados (menores emisiones de GEI en el transporte a la disposición final). Estos pretratamientos, que provocan la descomposición de moléculas y la solubilización de la materia, pueden aplicarse utilizando las tecnologías indicadas en la siguiente tabla, que también indica el número de instalaciones a gran escala existentes en 2009, el año de la primera instalación a gran escala, el año de la primera instalación a gran escala, la reducción alcanzable de sólidos volátiles y el consumo específico de energía eléctrica.

Tabla 7. Tratamiento de lodos antes de la digestión anaeróbica

Proceso	Primeros ensayos	Primera instalación	Nº instalaciones	Red. Sólid Volátiles [%]	Cons. Energ Eléctrica [kWh/tMS]
Hidrólisis térmica	1990	1996	24	60	310
Hidrólisis enzimática	Años 90	2002	11	52	304
Ultrasonidos de hidrólisis	Años 90	2000	>10	56	675
Hidrólisis del material eléctrico	2000	2007	1	56	407
Micro lodos	2000	2004	3	59	555
Ruptura celular	2004		0	52	204

La hidrólisis térmica, además de las ventajas indicadas anteriormente, también proporciona la producción de biosólidos estabilizados, con características compatibles con su valorización agrícola (biosólidos de clase A), lo que supone una gran ventaja.

La hidrólisis enzimática, que funciona a temperaturas en torno a los 42°C, no ofrece estas garantías. Los tratamientos ultrasónicos y de presión precedidos por el debilitamiento de las paredes celulares (microlodos) se aplican normalmente sólo a los lodos biológicos. El tratamiento térmico tiene la ventaja de poder utilizar el calor producido por cogeneración, lo que puede ser importante si la producción de biogás en la planta es suficiente, o si es económicamente viable reforzarla utilizando gas natural.

6.4. HIDRÓLISIS TÉRMICA DE LODOS

Hasta finales de los años 70, la aplicación de tratamientos térmicos a los lodos tenía como objetivo mejorar sus condiciones de deshidratación y lograr una mejor enfermedad de los lodos deshidratados. Posteriormente, se empezaron a investigar las mejoras en la digestibilidad aportadas por los tratamientos térmicos, con una temperatura de 170°C como temperatura ideal para estos tratamientos. A partir de los años ochenta, estos tratamientos térmicos comenzaron a abordarse con un tercer objetivo, la pasteurización de los lodos. Las principales ventajas detectadas en la investigación de los tratamientos térmicos previos a la digestión anaerobia de lodos son, fundamentalmente, las siguientes:

- Mejora de la biodegradabilidad de los lodos, con una reducción de las necesidades energéticas para el calentamiento de los digestores y un aumento de la producción de biogás.
- Reducción del impacto del retorno de los “licores” de gestión sobre el proceso biológico del tratamiento en fase líquida.
- Reducción de los compuestos olorosos formados durante los tratamientos de pre digestión.

Tras estas investigaciones, se patentaron algunas tecnologías de tratamiento térmico de lodos (por ejemplo, Biothelys y Camby), basadas en el aumento de la temperatura y la presión de los lodos, durante un cierto intervalo de tiempo. La hidrólisis térmica duplica con creces la fracción rápidamente biodegradable de los sólidos volátiles en los biosólidos, aumentando la producción de biogás entre un 30 y un 60%.

6.5. TRATAMIENTOS ELÉCTRICOS

Los tratamientos de pulsación de los campos eléctricos que se están investigando y desarrollando promueven la solubilización de los lodos, antes de su digestión, y tienen como objetivo principal el aumento de la relación DQO soluble/dQO total y la concentración de polímeros extracelulares (aumentos del orden de 4,5 a 6 veces), a través de la ruptura celular inducida por los impulsos de las descargas eléctricas. Estos tratamientos atacan directamente las membranas celulares.

Según algunos investigadores, los resultados de un estudio sobre la aplicación de estos tratamientos a una mezcla de lodos primarios y biológicos son referenciados, utilizando los resultados de laboratorio de las aplicaciones en plantas piloto y en plantas a gran escala. El tratamiento mejoró

la solubilización de la DQO y otros componentes de los lodos y demostró ser eficaz tanto en plantas piloto como a gran escala. Los principales beneficios fueron una mayor degradación de la materia orgánica, una mayor producción de biogás y una menor producción de lodos digeridos hasta su destino final.

6.6. PARÁMETROS DE CONTROL DEL PROCESO DE AIREACIÓN PARA REACTORES AERÓBICOS

Se están desarrollando tecnologías y herramientas innovadoras para el control de la aireación de reactores aeróbicos que no se limitan al control automático de los equipos de aireación en función de las concentraciones de oxígeno disuelto, siendo las más importantes las siguientes:

- a) Respirimetría.
- b) La determinación del punto crítico de concentración de oxígeno en los reactores biológicos mediante resultados de análisis por respirometría.
- c) El equilibrio de oxígeno en los tanques de aireación.

Además, la respirometría tiene las siguientes limitaciones, que condicionan su uso como base para el control en línea de los sistemas de aireación:

- Fiabilidad de los resultados analíticos de la respirometría.
- Dificultad de mantenimiento de los equipos de muestreo en línea.
- Posible falta de representatividad de las muestras tomadas en línea.

El punto crítico de oxígeno es la concentración mínima de oxígeno capaz de crear el gradiente (entre el exterior y el interior de la pared celular) necesario para el paso del oxígeno necesario para que los microorganismos respiren. Este parámetro, evaluado en pruebas de respirometría, permite determinar el setpoint óptimo de la concentración de oxígeno disuelto, ya que la respiración se ve perturbada por debajo del punto crítico, mientras que por encima de este punto no hay aumento de la velocidad de degradación a medida que aumenta la concentración de oxígeno disuelto. Mediante la regulación del sistema de control de este punto de ajuste se logrará la máxima eficiencia energética.

El balance de oxígeno alrededor de los reactores considera el oxígeno que entra en el reactor y el oxígeno que sale del reactor, liberado a través de la superficie libre. Esta metodología se utilizó inicialmente para evaluar la eficiencia de los sistemas de aireación y recientemente ha sido objeto de atención como proceso de control. Una forma de control que también puede tener ventajas en cuanto a la minimización del consumo en los procesos de

aireación es el control automático de la edad de los lodos, lo que permite minimizarla a valores compatibles con los objetivos del tratamiento. En cuanto al control de los compresores de aireación, actualmente se está produciendo una evolución del sistema de control tradicional basado en la presión (compresores arrancados o acelerados cuando la presión cae por debajo de un determinado valor, mediante el consumo de aire en aireación, controlado por válvulas en función de la concentración de oxígeno disuelto), hacia un nuevo sistema en el que el funcionamiento de los compresores es controlado directamente por el caudal de aire que se solicita. Este sistema de control tiene las siguientes ventajas:

- Elimina las oscilaciones cíclicas en compresores y reactores asociadas a la variación de presión.
- Minimiza las pérdidas de presión asociadas a las válvulas, ya que en áreas con mayor consumo de aire, las válvulas estarán completamente abiertas.

6.7. CONTROL DE LOS PROCEDIMIENTOS DE AIREACIÓN MEDIANTE PARÁMETROS DE AMONÍACO, NITRATO Y NITRITO

Las bacterias responsables de los procesos de eliminación de nitrógeno son muy diversas, y la mayoría de ellas soportan concentraciones de oxígeno bien disuelto cercanas a cero, y pueden desarrollarse y coexistir en condiciones alternas de aerobiosis con anoxia, proporcionando una optimización del metabolismo global de los microorganismos presentes en los reactores, con un mínimo de energía de aireación.

Para esta optimización, el tradicional control automático en función de la concentración de oxígeno disuelto no es suficiente para conseguir la máxima eficacia y aprovechar las zonas de transición aeróbica/anóxica. Se están desarrollando sistemas de control que utilizan mediciones de otros parámetros como amoníaco, nitrato y nitrito (Symbio & Bioprocess Intelligent Optimization - procesos patentados por BIOS).

6.8. AGITACIÓN DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS ANAERÓBICOS Y ANÓXICOS

Se están desarrollando dos tecnologías emergentes en el campo de la agitación/mezcla de reactores biológicos anaeróbicos y reactores anóxicos:

- Mezcladores de perfiles hiperbólicos.
- Mezcla de aire pulsado de burbujas gruesas.

El primero, que ya cuenta con algunos casos de aplicación en Europa, Alemania, Holanda y Bélgica, y que a partir de 2010 se está aplicando en dos EDAR en Estados Unidos, permite un importante ahorro energético respecto a los agitadores sumergibles convencionales.

El agitador de burbujas gruesas de aire difuso es una tecnología patentada y se basa en el uso de difusores diseñados para provocar la liberación intermitente, cerca del fondo de los reactores, de grandes burbujas de aire comprimido que, debido al efecto de la subida, promueven la agitación de la biomasa, sin transferencia de oxígeno desde el aire, por lo que puede aplicarse en reactores anaeróbicos y anóxicos.

6.9. SOLUCIONES DESCENTRALIZADAS

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos ha estado llevando a cabo un proyecto de investigación, titulado Proyecto Nacional de Desarrollo de la Capacidad de Recursos Hídricos Descentralizados (NDWRCDP), desarrollado por la Fundación para la Investigación del Medio Ambiente del Agua (WERF) y la Colaboración de Recursos Hídricos Descentralizados (DWRC), con el fin de desarrollar la investigación sobre los sistemas descentralizados de aguas residuales y drenaje pluvial.

Dada la fuerte interrelación entre el agua y la electricidad, el proyecto también implica la cooperación del Electric Power Research Institute (EPRI).

De acuerdo con la definición presentada en la página web del proyecto a la que se hace referencia en el párrafo anterior, los sistemas de tratamiento descentralizado son sistemas de tratamiento, generalmente más pequeños que los convencionales, que sirven a hogares individuales o a grupos de hogares, industrias o entidades institucionales, aplicados cerca del lugar de generación de aguas residuales.

En los Estados Unidos, las áreas rurales y suburbanas están adoptando cada vez más este tipo de solución para satisfacer las necesidades de drenaje y tratamiento de aguas urbanas y pluviales.

El sitio Web menciona 20 casos de soluciones descentralizadas ubicadas en los Estados Unidos y Australia, concluyendo que estas soluciones son factibles y sostenibles y que pueden ser utilizadas en conjunto con soluciones centralizadas para una optimización global del proceso y de la energía.

El concepto de sistema descentralizado integra los siguientes principios de diseño:

- Desvío de aguas negras (heces y orina) y aguas grises, además del desvío de aguas pluviales.

- Recuperación de nutrientes en la fuente, principalmente del tratamiento de aguas negras.
- Reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura urbana u otros usos compatibles.

Existen casos de aplicación de este tipo de diseño de drenaje urbano en la reconstrucción de ciudades antiguas y en la construcción de nuevas ciudades en Suecia y los Países Bajos.

En este concepto, el tratamiento de las aguas negras se lleva a cabo mediante procesos anaeróbicos, como las fosas sépticas, o mediante procesos innovadores, como el tratamiento de aguas negras:

- La eliminación de la DQO y la recuperación del metano en los reactores de la UASB.
- La precipitación de fósforo en forma de cristales de estruvita, utilizando el magnesio como agente precipitante.
- La conversión de amoníaco en nitrógeno gaseoso (utilizando nitrito como receptor de electrones) mediante procesos innovadores con bajo consumo de oxígeno y sin necesidad de una fuente de carbono externa (CANON, ANAMOX, OLAND).

Las aguas grises se tratan en sistemas compactos UASB/SBR o mediante lodos activados. Estas tecnologías se han aplicado, por ejemplo, en pequeñas zonas residenciales de Sneek, en el norte de los Países Bajos.

Un nuevo concepto de drenaje urbano que aprovecha los sistemas centralizados y descentralizados incluye el tratamiento centralizado de las aguas negras y el tratamiento local descentralizado y la reutilización de las aguas grises.

Según parte de la bibliografía de la especialidad, esta concepción híbrida permitirá las reducciones.

7. CONCLUSIONES

Una planta de tratamiento debe ser capaz de afrontar los retos que plantea la sociedad en términos de calidad de sus efluentes, minimizando sus costes, reduciendo su consumo energético y, en definitiva, consiguiendo su sostenibilidad económica y medioambiental. Para ello, se requiere un conocimiento detallado de los principales procesos y recursos consumidos en las EDAR y de los principales residuos generados, teniendo en cuenta su impacto económico en su viabilidad.

Siguiendo esta línea de pensamiento, esta Guía ha sido creada como una herramienta de apoyo para apoyar la consecución de estos objetivos y servir de referencia para las entidades gestoras de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. Se pretende, en primer lugar, que la presente Guía ayude a identificar las posibles medidas de mejora que pueden aplicarse en este tipo de instalaciones y, en segundo lugar, que las entidades gestoras dispongan de información útil sobre cómo evaluar la viabilidad técnica y económica de la implantación de las diferentes medidas de mejora que se persiguen.

Para ello, se ha utilizado toda la información recogida en los estudios de caracterización (mostrados en el apartado 2, que presenta y sistematiza la información de 178 EDAR), en las auditorías realizadas en las EDAR de la Eurorregión (resultados en el apartado 4 de 10 EDAR de Galicia y 10 de 10 del Norte de Portugal), así como todas las herramientas desarrolladas (<http://aqualitrans.itg.es/>) dentro del proyecto AQUALITRANS.

En un grupo de 20 EDAR se han realizado auditorías energéticas detalladas siguiendo la metodología descrita en esta Guía (apartado 3). En estas auditorías se desagregó el consumo de energía en términos de fuentes y vectores, sectores, procesos y equipos y se identificaron los principales consumidores dentro de la planta, se evaluaron las eficiencias energéticas de los procesos/equipos, se establecieron indicadores de eficiencia, se identificaron los puntos de ineficiencia dentro de la planta y se hizo referencia a las medidas o soluciones de mejora para estos puntos (secciones 5 y 6).

Para este grupo de EDAR sólo se han seleccionado unas pocas EDAR piloto para la implantación de algunas de las medidas de mejora recomendadas. Se realizó una caracterización energética antes y después de la implantación

de estas medidas, con el fin de determinar si alcanzaban los valores esperados, que se presentan en la siguiente tabla.

Por último, y como se ha mencionado anteriormente, también en el marco del proyecto AQUALITRANS, se ha desarrollado una herramienta avanzada de gestión de EDAR con el objetivo de ayudar a las entidades gestoras. En esta herramienta es posible realizar diagnósticos energéticos a este tipo de instalaciones y comparar los indicadores energéticos obtenidos con los valores de referencia. Además, esta herramienta también permite la implantación de planes individuales que incluyen medidas de mejora, tal y como se presentan aquí, para cumplir con los objetivos de ahorro en el consumo de recursos, generación de residuos y eficiencia en costes, así como prescripciones de sistemas de gestión de procesos basados en las tecnologías de la información y la comunicación

Tabla 8. Medidas aplicadas en el marco del proyecto Aqualitrans

EDAR	Medidas	Inversión (€)	Escenario inicial (kWh)	Escenario Final (kWh)	Ahorro (kWh)	% Red
A Proba de Caramiñal	Instalación de convertidores de frecuencia	23.340	18.398	14.052	4.346	24
Sobreiras	Instalación de convertidores de frecuencia	49.000	3.013.840	2.561.764	452.076	15
Gondomar	Sustitución de bombas sobredimensionadas	47.200	191.726	174.474	17.252	9
A Proba de Caramiñal	Subs. de difusores por difusores de alta eficiencia	22.268	73.365	44.165	29.200	40
Nigrán	Limpieza del circuito de aireación	-	-	-	-	3
Ares	Sistema de control del sistema de aireación	18.766	312.971	300.451	12.520	4
Nigrán	Regulación del sistema de desinfección UV	7.217	156.950	108.296	48.654	31
Cedeira	Instalación de paneles fotovoltaicos	33.650	-	-	24.500	7
5 EDAR de Galicia y 1 de Portugal	Sistema de gestión y supervisión de la energía	-	-	-	331.556	-

8. ANEXOS

8.1. ANEXO 1 – CARACTERÍSTICAS DE LAS 178 EDAR DE LA EURORREGIÓN UTILIZADAS EN EL ESTUDIO

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 1	4.000	1.200	126		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Filtración y Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 2	600.000	130.982	8.186	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador	Decantadores primarios	Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Digestión anaeróbica, centrifugación y secado térmico
EDAR 3									
EDAR 4	4.500	912	220	Bombeo de agua bruta	Riego y desarenador-desengrase	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 5	6.500	1.855	157		Riegos y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 6	2.000	600	60		Riego		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	
EDAR 7	8.621	2.592	259	Bombeo de agua bruta	Tamices Masko-Zoll e tanque de homogeneización	Físico – Químico	-	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 8	4.000	1.000	63		Riego, rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 9	19.000	4.800	480	Bombeo de agua bruta	Pólipo de garras, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 10	52.000	13.278	1.500		Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección por cloración	Espesamiento y centrifugado

ID	Pobl. equiv proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 11	16.000	5.530	648		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 12	2.000	442	46		Rototamizadores, Riego y desarenador-desengrase		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 13	12.500	2.760	350	Bombeo de agua bruta	Tamices Masko-Zoll		Laguna biológica		Físico-Químico. Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 14	6.000	1.800	225		Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección por cloración	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 15	20.000	4.992	500	Bombeo de agua bruta	Sin datos		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Pré-desidratador e centrifuga
EDAR 16	1.500	375	40	Bombeo de agua bruta	Sin datos		Lodos activados		Espesamiento y centrifugado
EDAR 17	36.000	7.314	690		Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección por cloración	Espesamiento y centrifugado
EDAR 18	2.000	500	63		Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 19	2.000	500	50		Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 20	2.300	499	50	Bombeo de agua bruta	Rototamizadores		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 21	2.000	500	50	Bombeo de agua bruta	Riego y Tamices		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 22	3.000	750	94	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 23	4.000	800	74	Bombeo de agua bruta	Riego y pretratamiento compacto		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Filtración y Desinfección ultravioleta.	Espesamiento y centrifugado

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 24	8.500	2.550	213		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 25	2.500	552	138		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 26	2.500	500	45		Riego de gruesos, riego de fino y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 27	2.820	574	57	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 28	4.000	1.200	100	Bombeo de agua bruta	Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 29	13.000	2.600	324	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 30	25.000	6.250	466		Riego y desarenador-desengrase		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 31	20.000	6.300	563		Riego y desarenador-desengrase		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 32	5.000	1.584	132	Bombeo de agua bruta	Tamices Masko-Zoll	Físico - Químico	Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 33	17.000	5.112	510		Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 34	14.700	3.000	375		Tamices rotativos y Marko-Zoll	Físico - Químico			Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 35	2.000	600	75	Bombeo de agua bruta	Riego y Tamices en cascada		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 36	15.000	4.320	482	Bombeo de agua bruta	Pólipo de garras, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 37	14.000	3.857	321		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 38	5.000	1.000	100	Bombeo de agua bruta	Compacto	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 39	3.700	910	100	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 40	48.000	12.000	750	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección por cloración	Espesamiento e filtros banda
EDAR 41	30.000	9.000	900		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 42	35.000	10.800	1.080		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 43	8.268	2.064	207	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y tanque de homogeneización	-	Biofiltración	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 44	20.000	3.696	496		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 45	4.000	1.040	130	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 46	11.950	2.795	225		Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Filtración y Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 47	5.000	1.700	142		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 48	2.279	550	57	Bombeo de agua bruta	Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 49	10.395	3.119	312	Bombeo de agua bruta	Riego y pretratamiento compacto	-	Lodos activados	Microfiltros y Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 50	16.000	3.888	400		Riego y Tamices Masko-Zoll	Físico - Químico	Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 51	10.000	1.500	204	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 52	23.750	4.750	300		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 53	8.000	1.900	237		Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados		Espesamiento y centrifugado
EDAR 54	4.000	1.200	100		Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección por cloración	Espesamiento y centrifugado
EDAR 55	8.000	2.000	168		Pólipo de garras e rototamizadores		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 56	1.500	377	38		Riego y Tamices Masko-Zoll	Físico - Químico	Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 57	8.500	1.700	146		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 58	3.000	750	78		Rototamizadores y desarenador-desengrasador compacto		Biofiltración	Filtración y Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 59	6.000	1.464	180		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 60									
EDAR 61	3.100	778	65		Riego de gruesos, riego de fino y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 62	4.500	900	90	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados		Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 63	2.000	579	57	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Espesamiento y filtro de bandas

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 64	4.500	660	82		Riego, Tamices y desarenado		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 65	1.500	0	37						
EDAR 66	5.500	1.008	100		Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 67	10.000	2.800	360		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 68	4.000	800	74	Bombeo de agua bruta	Riego y pretratamiento compacto		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 69	1.200	240	26						
EDAR 70	367.633	99.360	5.346						
EDAR 71	4.000	804	74	Bombeo de agua bruta	Riego y pretratamiento compacto		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 72	2.500	743	69		Riego de gruesos, riego de fino y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 73	8.000	1.600	74	Bombeo de agua bruta	Riego y Rototamizadores		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 74	5.000	2.236	120	Bombeo de agua bruta	Pozo grueso, riego de gruesos, cribado fino y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 75	24.000	6.720	562	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 76	23.000	6.450	644	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 77	132.266	39.912	13.320	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador	Decantadores primarios	Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Espesamiento, digestor anaeróbico, centrifugas y secado térmico

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 78	3.400	680	136	Bombeo de agua bruta	Pólipo de garras, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 79	12.880	2.760	230	Bombeo de agua bruta	Tamices Masko-Zoll y tanque de homogeneización	Físico – Químico	-	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 80	600	120	15						
EDAR 81	400.000	120.000	10.800	Bombeo de agua bruta					
EDAR 82	25.000	6.048	576		Riego de gruesos, riego de fino y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 83	5.000	1.500	187		Riego y desarenador-desengrase		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Filtro banda
EDAR 84	3.000	840	105	Bombeo de agua bruta	Pretratamiento compacto	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 85	1.800	396	40	Bombeo de agua bruta					
EDAR 86	200.000	76.493	6.372	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador	Decantadores primarios	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Espesamiento, digestor anaeróbico, centrifugas y secado térmico
EDAR 87	3.500	875	80		Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 88	7.032	1.950	245	Bombeo de agua bruta					
EDAR 89	1.346	984	40						
EDAR 90	30.000	9.000	900	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 91	7.000	1.400	140	Bombeo de agua bruta	Riego y desarenador-desengrase		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 92	15.000	4.310	431	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 93	9.000	1.800	150		Riego, Tamices y desarenado		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 94	35.079	8.770	1.096		Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 95	5.000	1.250	109		Riego y Rototamizadores	Decantadores primarios	Lodos activados		Espesamiento, digestión aeróbica y filtro de banda
EDAR 96	23.000	3.225	271		Pólipo de garras e Riegos	Decantadores primarios	Lodos activados		Espesamiento, digestión aeróbica y filtro de banda
EDAR 97	3.000	875	88	Bombeo de agua bruta	Riego y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 98	6.000	1.800	150	Bombeo de agua bruta	Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 99	6.225	1.680	168	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección por cloración	Espesamiento y centrifugado
EDAR 100	2.000	408	40		Riego, Tamizadores y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 101	9.000	1.500	150	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Microfiltración y Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 102	2.500	750	75	Bombeo de agua bruta	Riego y Rototamizadores	Físico - Químico		Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 103	5.000	1.560	98		Riego y Rototamizadores		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 104	9.500	3.293	412						
EDAR 105	5.250	1.050	105	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 106	2.100	257	27	Bombeo de agua bruta	Riego y Rototamizadores		Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 107	70.000	19.600	1.469	Bombeo de agua bruta	Pólipo de garras, Tamices y desarenador-desengrasador	Decantadores primarios	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento, depósito y centrifugado

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 108	20.000	5.000	500		Riego y Tamices Masko-Zoll		Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Físico-Químico, Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 109	15.000	3.456	432	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y doble canal desarenador-desengrasado		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 110	40.000	9.960	22.452		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 111	6.000	1.456	153	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección por cloración	Espesamiento y centrifugado
EDAR 112	7.500	2.250	225		Riego y desarenador-desengrase		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 113	1.500	668	63		Tamices Masko-Zoll	Físico - Químico	Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 114	5.000	1.800	180	Bombeo de agua bruta	Tamices Masko-Zoll y tanque de homogenización	-	Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Físico - químico, Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 115	88.000	24.640	1.800		Rototamizadores y desarenador-desengrasador	Decantadores primarios	Lodos activados		Espesamiento, digestores anaeróbicos y centrifugado
EDAR 116	350.000	101.712	NULL						
EDAR 117	3.000	750	75		Tamices Masko-Zoll	Físico - Químico	Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 118	18.000	5.148	648	Bombeo de agua bruta	Riego de gruesos, riego de fino y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 119	2.000	552	60		Riego y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 120	2.000	600	58		Riego, rototamizadores y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 121	3.000	840	105	Bombeo de agua bruta	Tamices Masko-Zoll	Físico - Químico	-	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 122	600	204	20						

ID	Pobl. equiv proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 123	200.000	64.800	3.240	Bombeo de agua bruta	Riegos, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	Físico – Químico	Lechos percoladores	Microfiltros y Desinfección ultravioleta	Tamices de lodos, espesadores, digestores anaeróbicos y filtros de banda
EDAR 124	13.000	3.240	250		Riegos de gruesos, rototamizadores y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 125	30.000	6.000	600	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Espesamiento, filtro banda y centrifugado
EDAR 126									
EDAR 127	15.000	5.250	430		Riego de gruesos, riego de fino y desarenador-desengrasador	Físico - Químico	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 128	3.500	875	90		Riego y Tamices		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 129	5.000	1.250	300	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 130	2.500	520	52	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 131	12.764	3.192	319	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 132	11.500	2.300	144	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección por cloración	Espesamiento y centrifugado
EDAR 133	2.200	440	44	Bombeo de agua bruta	Riego de gruesos, riego de fino y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 134	15.000	3.000	301	Bombeo de agua bruta	Pólipo de garras, Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 135									

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 136	4.000	804	80		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 137	24.000	6.000	450		Pólipo de garras, Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Digestor aeróbicos, Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 138	9.000	2.700	270	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 139	37.500	7.500	1.063	Bombeo de agua bruta	Riego, Tamices y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 140	19.000	6.651	1.108		Riego de gruesos, riego de fino y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 141	7.200	1.800	181	Bombeo de agua bruta	Riegos y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 142	900	225	28				Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 143	3.521	845	106	Bombeo de agua bruta	Riego y Tamices Masko-Zoll	Físico - Químico	Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 144	20.000	4.320	1.800	Bombeo de agua bruta	Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 145	3.000	0	0						
EDAR 146	184.000	54.560	3.517		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador	Decantadores primarios	Lodos activados		Tamices de lamas, Espesamiento y filtros prensa
EDAR 147	40.000	10.800	917	Bombeo de agua bruta	Tamices y desarenador-desengrasador	Decantadores primarios	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesadores, tambores de Espesamiento y centrifugados
EDAR 148	10.000	2.472	203		Riego y desarenador-desengrase	Decantadores primarios	Lodos activados		Espesamiento, digestión aeróbica y filtro de banda
EDAR 149	55.000	12.960	1.080		Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador	Físico - Químico	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado

ID	Pobl. equiv proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 150	8.800	1.940	500	Bombeo de agua bruta	Pólopo de garras, Rotamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 151	5.000	1.500	140	Bombeo de agua bruta	Riego, Rotamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 152	5.000	1.400	180		Riego, rotamizadores, desarenador-desengrasador y tanque de tormentas		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 153	3.000	692	69		Riego de gruesos y Riego de finos		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento e sacos drenantes
EDAR 154	2.411	720	72	Bombeo de agua bruta	Tamices Masko-Zoll y tanque de homogenización	-	Físico - Químico	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 155	8.000	2.400	240	Bombeo de agua bruta	Riego, Rotamizadores y desarenador-desengrasador	Físico - Químico	Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 156	2.000	400	21		Riego, Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 157	25.000	5.616	468	Bombeo de agua bruta	Riego, rotamizadores, desarenador-desengrasador y tanque de tormentas		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento. Espesamiento y centrifugado
EDAR 158	16.800	3.360	250		Riego y Rotamizadores	Físico - Químico	Lechos percoladores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta
EDAR 159	10.000	2.600	260		Riego y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 160	8.454	2.520	158	Bombeo de agua bruta	Riego y Tamices	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 161	2.000	528	51		Riego y Tamices		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento
EDAR 162	4.000	1.000	200						
EDAR 163	2.500	550	57	Bombeo de agua bruta	Riego y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Tambor de Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 164	2.000	600	58		Riego y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado

ID	Pobl. equiv. proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 165	15.000	5.016	627	Bombeo de agua bruta	Riego de gruesos, Tamices y desarenador-desengrasador	-	Lodos activados	Eliminación de nutrientes. Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 166	8.000	2.400	250	Bombeo de agua bruta	Riego y Rototamizadores	Físico - Químico	Biorreactores	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 167	3.135	720	120	Bombeo de agua bruta	Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 168	3.032	912	91	Bombeo de agua bruta	Tamices Masko-Zoll y tanque de homogeneización	Físico - Químico	-	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 169	30.000	8.100	590	Bombeo de agua bruta	Pólipo de garras, Riego y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 170	46.000	13.800	1.497	Bombeo de agua bruta	Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 171									
EDAR 172									
EDAR 173	10.000	3.000	250		Rototamizadores e desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y centrifugado
EDAR 174	4.000	1.400	280		Riego, Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Tambor de Espesamiento y centrifugado
EDAR 175	25.000	6.239	626	Bombeo de agua bruta	Tamices y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Almacenamiento de lodos y centrifugas
EDAR 176	2.000	600	60	Bombeo de agua bruta	Riego y desarenador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno)	Espesamiento y filtro de bandas
EDAR 177	13.500	3.360	265	Bombeo de agua bruta	Rototamizadores y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 178	4.000	1.100	110	Bombeo de agua bruta	Riego de gruesos, riego de fino y desarenador-desengrasador		Lodos activados	Eliminación de nutrientes (nitrógeno). Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado
EDAR 179	1.073	177	11						

ID	Pobl. equiv proyecto (h.e.d)	Caudal medio de proyecto (m ³ /d)	Caudal punta de proyecto (m ³ /h)	Bombeo	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Línea de lodos
EDAR 180	170.000	35.900			Desarenador y desengrasador	Decantadores primarios	Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Espesamiento, centrifugación, depósitos y digestores anaeróbicos
EDAR 181	200.000	54.000		Bombeo de agua bruta	Desarenador y desengrasador	Decantadores primarios	Lodos activados	Desinfección ultravioleta	Espesamiento y centrifugado

8.2. ANEXO 2- MODELO DETALLADO DE INFORME

Aunque no existe una estructura cerrada para la composición de un informe, a continuación se presenta una propuesta de plantilla para el informe final como referencia. Este puede ser modificado de acuerdo a la empresa concreta a auditar para una mayor ejecución de los objetivos propuestos:

1 RESUMEN EJECUTIVO

Incluirá un breve resumen de los puntos clave de la auditoría.

2 ANTECEDENTES

2.1 Contexto

2.2 Datos de la instalación auditada (datos generales de la EDAR y descripción de las instalaciones auditadas)

2.3 Consumo Energético en la EDAR

2.4 Datos de la Auditoría

2.5 Descripción, alcance y objetivos de la auditoría realizada.

3 BALANCE ENERGÉTICO (AÑO DE REFERENCIA)

Se clasifican y relacionan los diferentes tipos de energía utilizados, así como su consumo anual, distinguiendo valores energéticos, económicos y ambientales para cada tipo de fuente de energía. Se proponen los siguientes cuadros:

Tabla x. Balance energético por fuente de energía

Fuente de energía	Consumo		Consumo energético	Gasto energético	v CO ₂
	Unidades	Ud/año	kWh/año	€/año	t CO ₂ /año
Electricidad	kWh/año				
Gasóleo (cuando proceda)	l/año				
Gas natural (cuando proceda)	kWh/año				
....					
TOTAL					

Tabla x. Balance energético por Proceso.

Proceso	Consumo energético	Gasto energético	Emisiones CO ₂	Consumo energético	Gasto energético	Emisiones CO ₂
	kWh/año	€/año	t CO ₂ /año	%	%	%
Iluminación						
Climatización						
Equipos de Proceso e auxiliares						
TOTAL						

Tabla x. Balance energético por tratamiento

Sección	Consumo	Gasto	Emisiones
	kWh/año	€/año	t CO ₂ /año
Bombeo			
Pretratamiento			
Tratamiento Secundario			
Tratamiento Terciario			
Línea de lodos			
Desodorización			
Otros consumos			
TOTAL			
Proporción sobre electricidad			

Tabla x. Balance energético dos Equipos de Proceso e auxiliares da tabla de potencias

Sección	Consumo	Gasto	Emisiones
	kWh/año	€/año	t CO ₂ /año
Bombas de entrada			
Tornillo transportador			
Reja automática			
Triturador			
Ventiladores Pretratamiento			
Puente desarenador			
Bombas aspiración de arena			
Bombas de grasas			
Ventiladores tratamiento biológico			
Agitadores			
...			
TOTAL			

Proporción sobre electricidad			
-------------------------------	--	--	--

3.1 Ratios y gráficos de interés

Deberán presentarse al menos los siguientes índices y gráficos

- Relación entre la potencia instalada y el diseño equivalente habitante.
- Relación de consumo de energía por m³ de agua tratada.
- Gráfico mensual de precipitaciones y caudales de entrada de la estación.
- Gráfico mensual de consumo eléctrico y caudal de entrada de la planta de tratamiento.
- Potencia contratada y máxima registrada en la planta de tratamiento.
- Tarifa media para kWh y kWh totales (incluyendo todos los términos de la factura).

4. ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO

4.1 Facturación Energética

Consistirá en un análisis detallado de la facturación eléctrica de la empresa, estudiando las facturas de los puntos energéticos de la instalación y la evolución del consumo de energía a partir de las facturas y curvas de carga cuando estén disponibles.

Esto dará como resultado un perfil de consumo de la estación analizada, de forma que sea posible conocer la evolución temporal del consumo de energía. En este contexto, se presentan las particularidades de la oferta detallada actual:

- CUPS.
- Empresa proveedora.
- Cuota de acceso.
- Potencia contratada (kW).
- Energía activa total (kWh/año).
- Factor de potencia medio.
- Coste medio total de kWh (c€/kWh)*.
- Total Anual, IVA excluido (€).

Además, la distribución de los costes relativos a: potencia contratada, energía activa, energía reactiva, impuesto sobre la electricidad y otras condiciones se desglosará para cada mes.

4.2 Equipos de Proceso

Se evaluarán los siguientes aspectos:

- Régimen de funcionamiento de los equipos consumidores de energía.
- Potencia de los equipos y horas de funcionamiento.
- Consumo anual de los equipos de base y datos anteriores.
- Tecnología, marca y modelo de los equipos.
- Verificación del uso de convertidores de frecuencia y/o arrancadores suaves.

4.3 Iluminación

Estudio de luminarias, potencia instalada, horas de funcionamiento, vida útil, nivel de luminancia proyectado y requerido normativamente, regulación del nivel de luminancia.

4.4 Climatización

Balance energético de los equipos utilizados para satisfacer las necesidades frigoríficas y térmicas, analizando sus características técnicas, potencial medio, condiciones de funcionamiento, coeficiente de rendimiento (EER / COP), etc.

4.5 Instalaciones auxiliares

En los casos en que existan otras instalaciones con un consumo significativo, debe realizarse un análisis del consumo de energía de estas instalaciones auxiliares sobre la base de la información facilitada por el titular, en particular:

- Inventario de equipos.
- Distribución de cargas eléctricas.
- Potenciales instalados.
- Factor de carga estimado.
- Horario de atención.

5. MEDIDAS DE MEJORA

Se propondrán medidas de mejora para optimizar el consumo energético de las instalaciones, que se estudiarán de forma independiente para evaluar su viabilidad tecno-económica.

Las medidas de mejora se analizarán teniendo en cuenta una amplia gama de tipologías, a saber, la búsqueda de posibilidades de sustitución de equipos, la instalación de equipos auxiliares (como convertidores de frecuencia), la instalación de tecnologías de generación de energía a partir de fuentes renovables, como las mejoras relacionadas con la operación y el mantenimiento, tanto derivadas de la monitorización de la energía como relacionadas con la posibilidad de optimizar la facturación de la energía.

Cada medida de mejora debe llevarse a cabo:

- Descripción detallada de la medida de mejora de cada sistema.
- Justificación del ahorro energético, económico y de emisiones.
- Preparación de la propuesta de inversión.
- Análisis financiero, donde se realizarán los cálculos de cada medida propuesta, analizando los parámetros financieros tales como: TIR, VAN, periodo de retorno de la inversión, flujo de caja, etc.

6. ANEXOS

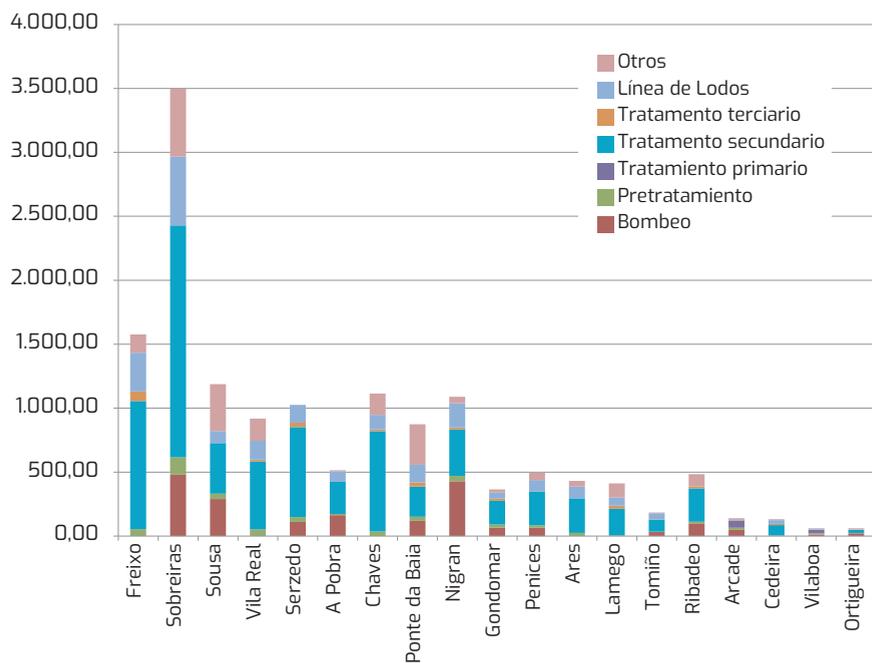
Se presentarán los siguientes anexos:

- Inventario del equipo.
- Cuadros de datos de las medidas adoptadas

8.3. ANEXO 3 – CARACTERIZACIÓN DE LAS EDAR AUDITADAS

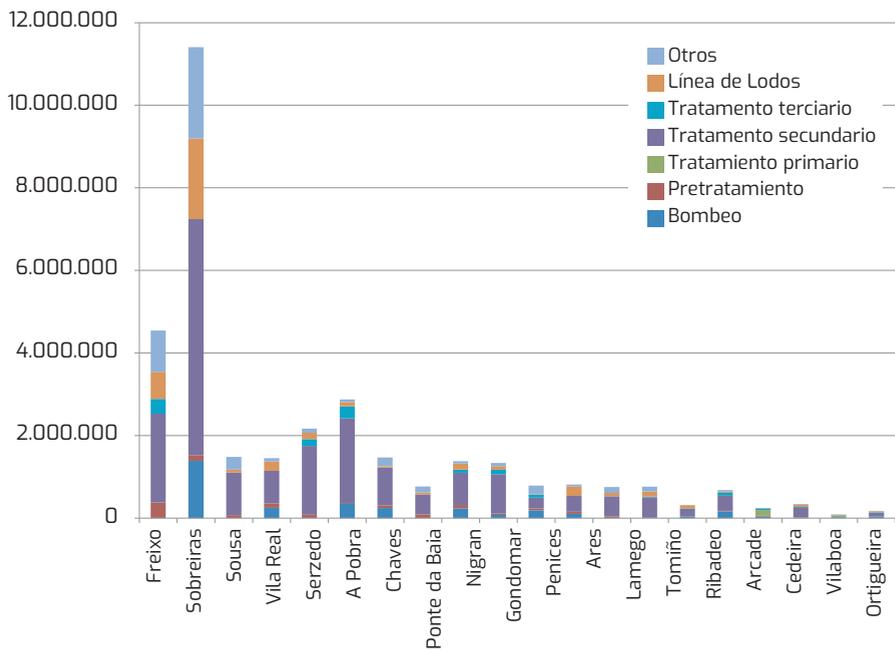
POTENCIA INSTALADA KW

	EDAR	Total	Bombeo	Pretrat.	Trat. 1º	Trat. 2º	Trat. 3º	Lodos	Otros
100K-500K	Freixo	1.575,70	0,00	53,60	0,00	1.002,40	75,50	301,70	142,50
	Sobreiras	3.497,30	480,00	135,40	0,00	1.812,80	0,00	538,10	531,00
	Total	5.073,00	480,00	189,00	0,00	2.815,20	75,50	839,80	673,50
30K-100K	Barcelos	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sousa	1.187,96	290,40	40,79	0,00	395,34	0,00	94,66	366,77
	Vila Real	918,85	0,00	53,11	0,00	530,59	14,91	147,05	173,19
	Serzedo	1.026,23	111,00	37,01	0,00	704,32	34,80	138,08	1,02
	Total	3.133,04	401,40	130,91	0,00	1.630,25	49,71	379,79	540,98
20K-30K	A Pobra	514,82	164,00	9,60	0,00	251,20	0,00	80,98	9,04
	Chaves	1.114,55	0,00	36,17	0,00	784,06	13,20	113,65	167,47
	Ponte da Baia	874,69	119,20	32,66	0,00	234,67	32,98	137,64	317,54
	Total	2.504,06	283,20	78,43	0,00	1.269,93	46,18	332,27	494,05
10K-20K	Nigran	1.089,23	429,40	41,14	0,00	363,09	15,00	191,02	49,58
	Gondomar	364,85	66,00	24,12	0,00	186,25	16,70	47,18	24,60
	Penices	496,66	64,98	20,20	0,00	262,04	0,00	90,84	58,60
	Ares	431,87	0,00	24,51	0,00	270,74	0,00	91,82	44,80
	Lamego	411,76	0,00	6,42	0,00	206,81	25,88	62,23	110,42
	Total	2.794,37	560,38	116,39	0,00	1.288,93	57,58	483,09	288,00
5K-10K	Tomíño	184,70	31,40	3,20	0,00	94,90	2,00	47,10	6,10
	Ribadeo	484,00	100,00	12,29	0,00	261,22	13,10	0,00	97,39
	Arcade	142,05	48,00	16,65	56,49	0,00	5,76	10,65	4,50
	Cedeira	131,22	0,00	5,90	0,00	80,00	9,75	29,31	6,26
	Total	941,97	179,40	38,04	56,49	436,12	30,61	87,06	114,25
<5K	Vilaboia	62,98	13,00	8,00	28,96	0,00	1,71	6,52	4,79
	Ortigueira	61,11	22,00	2,70	0,00	23,17	2,37	2,87	8,00
	Total	124,09	35,00	10,70	28,96	23,17	4,08	9,39	12,79
TOTAL EDAR AUDITADAS		14.570,53	1.939,38	563,47	85,45	7.463,60	263,66	2.131,40	2.123,57



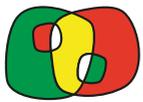
CONSUMO ANUAL KWH

	EDAR	Total	Bombeo	Pretrat.	Trat. 1º	Trat. 2º	Trat. 3º	Lodos	Otros
100K-500K	Freixo	4.543.230	0	381.587	0	2.150.252	357.174	653.693	1.000.524
	Sobreiras	11.405.659	1.387.423	139.015	0	5.715.141	0	1.953.815	2.210.265
	Total	15.948.889	1.387.423	520.602	0	7.865.393	357.174	2.607.508	3.210.789
30K-100K	Barcelos	1.482.531	0	76.017	0	1.032.919	0	69.828	303.767
	Sousa	1.452.719	251.383	105.961	0	789.973	0	229.233	76.169
	Vila Real	2.167.798	0	83.462	0	1.666.861	164.666	156.856	95.953
	Serzedo	2.875.507	366.421	25.221	0	2.025.813	290.304	105.423	62.325
	Total	7.978.555	617.804	290.661	0	5.515.566	454.970	561.340	538.214
20K-30K	A Pobra	1.470.066	247.850	65.088	0	912.827	0	33.644	210.657
	Chaves	769.671	0	90.422	0	477.679	0	54.677	146.893
	Ponte da Baía	1.381.154	238.675	79.969	0	781.289	77.836	144.322	59.063
	Total	3.620.891	486.525	235.479	0	2.171.795	77.836	232.643	416.613
10K-20K	Nigran	1.337.613	79.919	31.954	0	954.033	109.250	86.459	75.998
	Gondomar	791.258	191.727	40.481	0	262.954	75.909	11.193	208.994
	Penices	814.322	102.321	53.685	0	382.746	0	232.263	43.307
	Ares	756.464	0	43.877	0	486.816	0	82.845	142.926
	Lamego	763.529	0	9.461	0	496.236	15.660	125.743	116.429
	Total	4.463.186	373.967	179.458	0	2.582.785	200.819	538.503	587.654
5K-10K	Tomíño	319.872	41.793	11.114	0	173.978	12.019	75.388	5.580
	Ribadeo	680.880	162.679	13.804	0	368.677	67.200	28.711	39.809
	Arcade	248.729	40.488	16.105	139.760	0	35.320	13.113	3.943
	Cedeira	346.763	9.782	16.370	0	226.300	18.814	67.478	8.019
	Total	1.596.244	254.742	57.393	139.760	768.955	133.353	184.690	57.351
<5K	Vilaboia	92.626	20.510	7.738	36.909	0	10.486	9.622	7.361
	Ortigueira	179.458	36.783	3.639	0	88.832	15.549	24.390	10.265
	Total	272.084	57.293	11.377	36.909	88.832	26.035	34.012	17.626
TOTAL ETAR AUDITADAS		14.570.53	33.879.849	3.177.754	1.294.970	176.669	18.993.326	1.250.187	4.158.696



8.4. ANEXO 4 – RESUMEN DE LAS MEDIDAS PROPUESTAS PARA LAS EDAR AUDITADAS

		Ahorro anual alcanzado			Inversión	Retorno
		kWh	€	Ton CO2	€	Años
1	Iluminación LED	1.054.721	106.332,46	411,34	631151,78	5,94
2	Monitorización de energía en tiempo real	4.331.340	436.667,01	1.689,23	222.037,20	0,51
3	Bombeo de entrada. Sustitución por bombas más eficientes	501.064	50.515,08	195,42	586.299,64	11,61
4	Inmersión óptima de los rotores de aireación	862.178	86.921,03	336,25	195.075,00	2,24
5	Control avanzado del proceso de aireación	8.141.206	820.761,30	3.175,08	2.065.500,00	2,52
6	Regulación del proceso de desinfección UV	293.481	29.587,51	114,46	53.751,32	1,82
7	Limpieza de los difusores y circuito de aireación del reactor biológico	1.086.884	109.574,94	423,89	75.735,00	0,69
8	Sustitución de compresores por tecnologías más eficientes	6.043.622	609.291,93	2.357,02	2.529.662,73	4,15
9	Instalación de motores más eficientes	597.817	60.269,31	233,15	575.299,35	9,55
10	Instalación de agitadores tipo banana	5.511.894	555.685,42	2.149,64	5.447.385,94	9,80
11	Instalación de convertidores de frecuencia en bombas y motores	758.555	76.474,23	295,84	438.321,98	5,73
12	Sustitución de aireadores en Pretratamiento	747.878	75.397,87	291,67	253.480,74	3,36
13	Instalación de Energía Fotovoltaica	2.336.250	235.530,64	911,14	2.242.800,00	9,52
14	Optimización de la potencia contratada	-	151.297,67	-	-	-
15	Reubicación de las actividades en períodos más económicos	-	91.175,75	-	-	-
	TOTAL	32.266.891	3.495.482,15	12.584,12	15.316.500,69€	4,38



Interreg
España - Portugal



UNIÓN EUROPEA

AQUALITRANS

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



Instituto Energético de Galicia



INSTITUTO DE CIÊNCIA E INOVAÇÃO
ENGENHARIA MECÂNICA E ENGENH

aqualitrans.es
aqualitrans.pt

EPE Augas de Galicia
Praza de Camilo Díaz Baliño 7/9
15781 Santiago de Compostela