



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño Técnico para la optimización de los efluentes industriales: Plan de hidroeficiencia industrial

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor: Álvaro Ivars Ruiz
Director: María Luisa Belén Elvira Rendueles

Cartagena, 16 de julio de 2019



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Agradecer a mi familia su apoyo y consejo durante el periodo de elaboración del trabajo y durante mi carrera estudiantil. Y por supuesto, a mi tutora, Dña. Belén Elvira Rendueles, sin su guía y dedicación, no me hubiera sido posible hacer este proyecto.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	9
3. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS O ESTADO DEL ARTE.....	11
3.1. EL AGUA COMO RECURSO	11
3.1.1. Distribución del agua a nivel mundial.....	11
3.1.2. Causas de escasez del agua	12
3.1.2.1. Aumento de la población	12
3.1.2.2. El agua como recurso escaso.....	15
3.2. RELACIÓN AGUA-ENERGÍA.....	20
3.2.1. Introducción	20
3.2.2. Agua para la energía	21
3.2.3. Energía para agua	24
3.2.3.1. Potabilización	24
3.2.3.2. Tratamiento de aguas residuales	25
3.2.3.3. Ciclo total: transporte y bombeo de agua	28
3.3. IMPORTANCIA DEL AGUA EN LA INDUSTRIA	33
3.3.1. Introducción	33
3.3.2. Huella hídrica	34
3.3.2.1. Conceptos de la huella hídrica.....	35
3.3.2.2. Empresas que han calculado sus huellas hídricas.....	35
3.3.2.3. Empresas con conciencia en el uso del agua	36
3.4. LEYES Y NORMAS RELACIONADAS CON EL AGUA EN LA INDUSTRIA.....	37
3.5. CONCEPTO DE PLAN DE HIDROEFICIENCIA.....	38
3.5.1. Introducción	38
3.5.2. Medidas obligatorias para la optimización del agua.....	38
3.5.2.1. Sobre agua sanitaria	38
3.5.2.2. Sobre procesos productivos	39
3.5.3. Optimización del consumo hídrico.....	40
3.5.3.1. Grifos monomando.....	40
3.5.3.2. Grifos temporizados	41
3.5.3.4. Boquillas para grifos.....	41
3.5.3.5. Duchas	42
3.5.3.6. Inodoros.....	42



3.5.4.	Plan de hidroeficiencia industrial.....	43
3.5.4.1.	Procesos para buscar la eficiencia hídrica.....	43
3.5.5.	Realización del plan.....	44
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
4.1.	DOCUMENTACIÓN.....	47
4.1.1.	Guía de Hidroeficiencia: Conceptos y Definiciones básicas.....	47
4.1.2.	Tratamientos avanzados de agua residual industrial.....	51
4.1.2.1.	Tecnologías eco-eficientes.....	51
4.1.2.2.	Tratamientos avanzados.....	52
4.1.3.	Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales para su reuso en el proceso productivo de una industria de jabones AZULK S.A.....	57
4.1.4.	Reutilización del agua en la industria alimentaria.....	58
4.1.5.	Legislación aplicable.....	58
4.2.	MÉTODOS.....	59
5.	RESULTADOS.....	67
5.1.	IMPLANTAR TECNOLOGÍAS DE AHORRO.....	67
5.1.1.	Sin modificar el proceso productivo.....	67
5.1.1.1.	Industria de zumos.....	67
5.1.2.	Modificación en el proceso productivo.....	71
5.1.2.1.	Industria alimentaria.....	71
5.1.2.2.	Industria metalúrgica.....	73
5.1.2.3.	Edificio público.....	75
5.2.	FINALIZAR EL PLAN DE HIDROEFICIENCIA.....	76
6.	CONCLUSIONES.....	78
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	80



ÍNDICE DE IMÁGENES

Capítulo 3:

<i>Imagen 3.1:</i> Distribución del agua a nivel mundial.	11
<i>Imagen 3.2:</i> Distribución de Agua Dulce.	11
<i>Imagen 3. 3:</i> Extracción de agua-aumento de población.	12
<i>Imagen 3. 4:</i> Consumo de agua por habitante en España	14
<i>Imagen 3. 5:</i> Zonas de escasez hídrica.....	15
<i>Imagen 3. 6:</i> Distribución de abastecimiento de agua dulce.....	17
<i>Imagen 3. 7:</i> Ciclo hidrológico del agua subterránea.	18
<i>Imagen 3. 8:</i> Funcionamiento de una turbina de central hidroeléctrica.	21
<i>Imagen 3.9:</i> Planta de desalinización industrial.	25
<i>Imagen 3. 10:</i> Contaminación del agua en un proceso industrial.....	26
<i>Imagen 3. 11:</i> Tipos de tratamientos.	27
<i>Imagen 3. 12:</i> Reutilización de agua por cada Comunidad Autónoma.....	28
<i>Imagen 3.13:</i> Uso de agua reutilizada por operación.....	28
<i>Imagen 3.14:</i> Consumo energético (kWh/m ³) por operación.	29
<i>Imagen 3. 15:</i> Curvas de bombeo y consigna de un bombeo en una red.	31
<i>Imagen 3. 16:</i> Energía que entra y sale de la red de tuberías.	32
<i>Imagen 3. 17:</i> Balance energético en transporte de agua dulce.	33
<i>Imagen 3 18:</i> Uso del agua dulce por sector.	33
<i>Imagen 3 19:</i> Consumo de agua por industria.	34
<i>Imagen 3 20:</i> Sensor de grifo automático.....	40

Capítulo 4:

<i>Imagen 4. 1:</i> Tratamientos de regeneración propuestos sin desalación para usos que requieren una determinada calidad microbiológica.....	40
<i>Imagen 4. 2:</i> Tratamientos de regeneración propuestos con desalación.	40
<i>Imagen 4. 3:</i> Modelo lineal de lavado.	40
<i>Imagen 4.4:</i> Modelo circular de lavado.....	40
<i>Imagen 4. 5:</i> Tratamientos terciarios de membranas.	40
<i>Imagen 4. 6:</i> Tecnologías de membrana.....	40
<i>Imagen 4. 7:</i> Proceso de tratamiento del agua residual en planta de jabones.	40
<i>Imagen 4. 8:</i> Sistema en cascada.	40
<i>Imagen 4.9:</i> Lavado de jamón.....	40
<i>Imagen 4.10:</i> Destilación multiefecto MED.	40
<i>Imagen 4.11:</i> Destilación por compresión mecánica de vapor.....	40
<i>Imagen 4.12:</i> Torre de refrigeración.	40



ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3:

<i>Tabla 3.1:</i> Nivel de abastecimiento hídrico.....	13
<i>Tabla 3.2:</i> Comparación de precios con salario medio por país.....	15
<i>Tabla 3.3:</i> Extracción del agua.	16
<i>Tabla 3.4:</i> Porcentaje de pérdidas respecto al agua suministrada en Europa.	19
<i>Tabla 3.5:</i> Huella hídrica (m ³ /GJ) asociada a cada tipo de industria energética.	22
<i>Tabla 3.6:</i> Demanda (MW) de energía eléctrica.	22
<i>Tabla 3.7:</i> Demanda en GJ/h en base a la estación eléctrica.....	23
<i>Tabla 3.8:</i> Demanda hídrica (m ³ /h) de la energía en cada estación del año.....	23
<i>Tabla 3.9:</i> Gráficas por estación del consumo de agua (m ³ /h).	23
<i>Tabla 3.10:</i> Términos de la ecuación de la energía de una bomba.	30
<i>Tabla 3.12:</i> Medidas obligatorias para el ahorro de agua sanitaria.....	39
<i>Tabla 3.11:</i> Medidas obligatorias para el ahorro de agua sanitaria.....	39
<i>Tabla 3.12:</i> Gestión del uso de agua.	40

Capítulo 4:

<i>Tabla 4.1:</i> Tratamientos de agua residuales según la Guía de RD 1620/2007.....	40
--	----



1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

El agua es el bien máspreciado a nivel mundial, ya que de él depende el desarrollo socioeconómico, tecnológico, agrícola y del ecosistema del planeta. Según Naciones Unidas, el consumo de agua se ha duplicado en los últimos 50 años. El aumento de la industrialización, junto al crecimiento de una población con la necesidad (lógica) de consumir agua y productos, hace que nos enfrentemos a una crisis hídrica.

Sabemos que en todo el ciclo del agua, desde su recogida hasta el abastecimiento a las personas, son necesarias una serie de actividades que requieren energía. Lo mismo pasa al contrario, en la mayoría de métodos para conseguir energía se utiliza agua, ya sea utilizándolo como refrigerante o haciendo uso de su energía potencial. Según la ONU el 75% del agua que llega a la industria se utiliza para la producción de energía.

El uso eficiente del agua o hidroeficiencia es un indicador de la relación entre la cantidad de agua necesaria para un fin o proceso determinado y la cantidad de agua utilizada realmente. La hidroeficiencia Industrial, por tanto, es el uso eficiente del agua en las operaciones de producción dentro de cualquier tipo de industria.

Objetivos de hidroeficiencia en una industria:

- Disminución del consumo de agua de red, de pérdidas y de los efluentes. Además, que las fuentes de energía utilizadas consuman menos agua.
- Que para la fabricación de los productos industriales se consuman menos agua, y que, una vez fabricados, necesiten menos agua para su consumición o utilización.

Cada vez más empresas tienen una conciencia de sostenibilidad hídrica. En la mayoría de los procesos industriales se consume agua y se generan aguas residuales. Una de las principales formas de ahorrar agua y energía en la industria, es la reutilización del agua residual generada en el proceso. Antes de reutilizarla deberá ser tratada mediante tratamientos de depuración para que cumpla con el RD 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Esta ley nos proporciona datos sobre los valores máximos que puede tener los parámetros de calidad del agua reutilizada (sólidos en suspensión, turbidez, *Escherichia coli*, nematodos intestinales...) dependiendo del uso al que se destina. Al aumentar la reutilización de agua, el vertido será menor pero más contaminado, debido a que el agua limpia se devuelve al proceso y sus contaminantes se concentran en el vertido final de línea. Estos lodos generados también pueden ser tratados para recuperar materias primas.

Un plan de hidroeficiencia industrial es aquel documento que elabora una empresa con el objetivo de buscar la mayor eficiencia posible de agua. Para ello, cada empresa estudia sus procesos de producción y su uso de agua sanitaria y refrigeración para ajustar el volumen hídrico usado. Aunque el objetivo es la reducción de agua utilizada, no se podrá limitar la calidad del agua por debajo de unos valores y se tendrá que atender a las leyes de vertido al medio ambiente.

La Región de Murcia fue la primera que elaboró una ley sobre las medidas de conservación y ahorro del uso del agua ("Ley 6/2006 sobre incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia"). En dicha ley se desarrolla el concepto de hidroeficiencia y se crea una aplicación informática denominado sistema VIGIA (Sistema de Vigilancia e Información de la Gestión



Industrial del Agua) para posibilitar su ejecución. El sistema VIGIA tiene dos principales funciones: La primera es certificar su plan de ahorro, la segunda, y más importante, es que permite a la empresa comparar su consumo de agua virtual con sus consumos anteriores e incluso con los consumos medios de su sector. Cada 6 meses se evalúan los resultados obtenidos desde un punto de vista económico y ambiental.

Para hacer un correcto plan de hidroeficiencia hay que tener claros conceptos como son la huella hídrica, la reutilización del agua y el vertido 0. Todos estos conceptos son usados para medir la eficiencia hídrica y ambiental de un proceso.

Para elaborar un correcto plan de hidroeficiencia deberemos diseñar un proceso donde optimizaremos el uso de agua y reduciremos al máximo los daños ambientales y el coste económico. Para reutilizar el agua se pueden usar diferentes metodologías dependiendo de si los tratamientos del agua son destructivos o no. Se elegirá uno u otro dependiendo de si interesa quedarse con el compuesto contaminante (no destructivos) o por el contrario, si queremos una eliminación total del contaminante (destructivos).

Una vez seleccionado el proceso de tratamiento se debe hacer un balance dónde se tenga en cuenta la huella hídrica, el impacto ambiental y el coste económico (canon de saneamiento, coste del equipo...).

Una vez hecho el balance se seleccionará el que menor repercusión ambiental tenga y mayor consumo hídrico, y ante igualdad de consumo el que menos coste tenga.



2. OBJETIVOS



2. **OBJETIVOS**

Los objetivos a cumplir en este trabajo son los siguientes:

2.1. Describir los tratamientos de aguas de uso industrial

- 2.1.1. Según la Procedencia del agua de abastecimiento.
- 2.1.2. En base a los tratamientos de acondicionamiento del agua.
- 2.1.3. En base el tipo de vertido del agua residual no reutilizada.

2.2. Aplicar las normas legislativas de obligado cumplimiento en los tratamiento del agua industrial

- 2.2.1. Normativa energética que regula el diferente tratamiento (apartado 1b).
- 2.2.2. Normativa ambiental que regula los vertidos industriales y la reutilización de efluentes industriales (apartado 1c).
- 2.2.3. Normativa de aguas en el sector industrial.

2.3. Describir el proceso de implantación de un plan de hidroeficiencia industrial

- 2.3.1. Aplicación de la Ley 6/2006 21 de julio de la CARM para ahorro del agua.
- 2.3.2. Balance agua-energía en procesos industriales y el tratamientos sus efluentes.
- 2.3.3. Métodos para la optimización hídrica y energética.
- 2.3.4. Requisitos administrativos del EPA (ENTE PÚBLICO DEL AGUA) para su aceptación.
- 2.3.5. Ventajas económicas y ambientales para el sector.



3. ANTECEDENTES



3. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS O ESTADO DEL ARTE

3.1. *EL AGUA COMO RECURSO*

3.1.1. Distribución del agua a nivel mundial

El agua es el bien máspreciado a nivel mundial, ya que de él depende el desarrollo socioeconómico, tecnológico, agrícola y del ecosistema del planeta. El agua (de abastecimiento y saneamiento) es un derecho humano según decretó la Asamblea de las Naciones Unidas en julio de 2010. Aunque es un recurso que compone el 70% del agua de la Tierra, solo es aprovechable un 2%.

Imagen 3.1: Distribución del agua a nivel mundial.

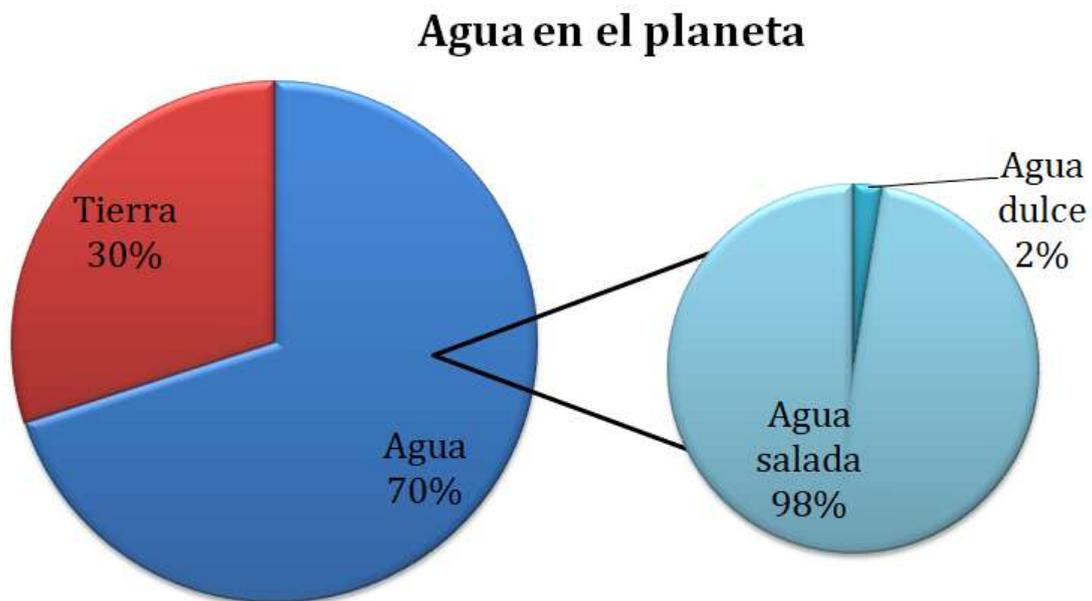
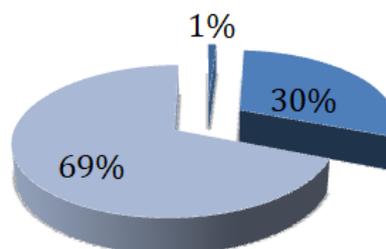


Imagen 3.2: Distribución de Agua Dulce.

Distribución de Agua Dulce

- Agua superficial dulce disponible
- Aguas subterráneas (Agua dulce de reserva)
- Hielo y glaciares (Agua dulce no disponible)





De ese 1% de consumo humano, el 69% es usado en agricultura, el 19% en la Industria y el 12% restante en abastecimiento humano. Ante el crecimiento exponencial de la población y la consecuente demanda de alimentos, es lógico que se busque una mayor eficacia en cuanto al uso de agua se refiere, ya que la gestión del agua sigue sin realizarse de manera óptima para que este recurso perdure en el tiempo.

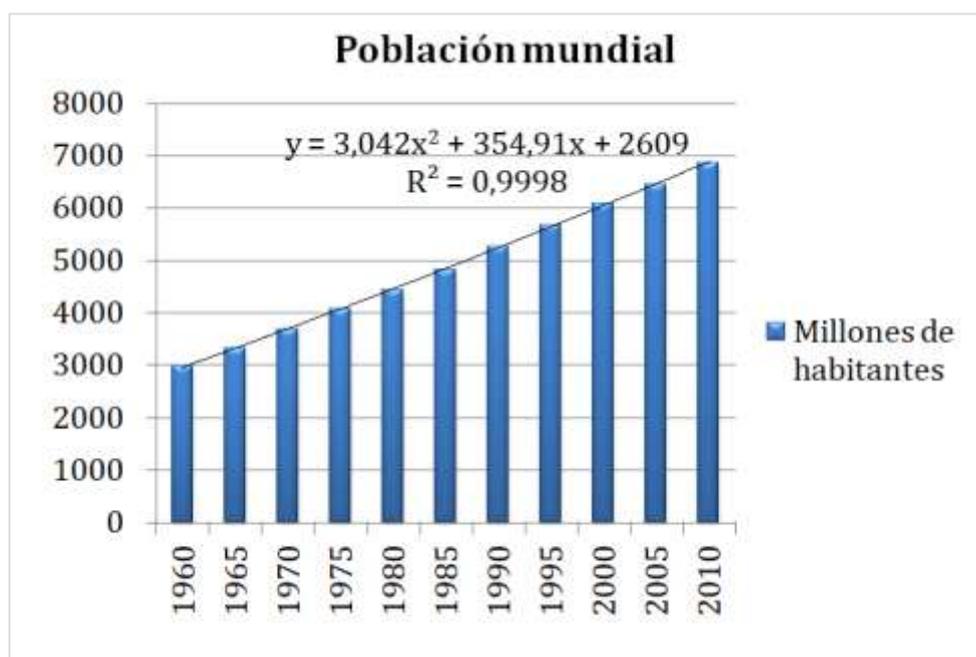
Aunque queda demostrado que hay agua para abastecer la población mundial, en la actualidad, nos encontramos ante escasez de agua. Las principales causas de este problema son: aumento de la población, explotación del agua y la escasez física o tecnología para obtener o transportar este recurso en determinadas zonas del planeta.

3.1.2. Causas de escasez del agua

3.1.2.1. Aumento de la población

El aumento de la industrialización, junto al crecimiento de una población con la necesidad (lógica) de consumir agua y productos, hace que nos enfrentemos a una crisis hídrica. Aunque hay agua suficiente como para satisfacer a todo el mundo, el incorrecto empleo del recurso hace que muchos estudios nos alarmen ante un futuro escenario en el que el agua sea un lujo en vez de un derecho.

Imagen 3. 3: Extracción de agua-aumento de población.



En la anterior ilustración se ve la tendencia creciente de la población. Además, mediante el coeficiente R^2 , podemos saber cuál es la línea de tendencia. En este caso, dicha tendencia es polinómica. Así, gracias a la ecuación de la recta, estimamos que para 2050, la población mundial sería de 10.450 millones de personas. Este dato, aunque no es preocupante, avisa de los miles de millones de bocas a las que alimentar y abastecer en el futuro.

Según Fundación Aquae, en la Tierra hay 1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua. Por tanto, utilizando las proporciones anteriores, para consumo humano hay más de 270.000 km^3 . El ciclo hídrico hace que esta cantidad sea más o menos constante en condiciones



“normales” de consumo. Lo que ocurre en la actualidad es diferente. Debido a factores como el crecimiento de la población o un mal gasto del recurso, la cantidad de agua para consumo humano está disminuyendo.

Según la OMS (organización mundial de la salud), la cantidad de agua óptima de consumo humano es de 50 l/hab*día. En este uso, se incluyen acciones como abastecimiento, higiene y limpieza particular.

Tabla 3.1: Nivel de abastecimiento hídrico.

Servicio	Acceso	Necesidades Atendidas	Efecto Sobre la Salud
Sin acceso (<5 L/p*d)	Muy difícil (Recogida a más de 1 km de distancia)	Consumo: No garantizado	Muy alto
		Higiene: Nula	
Acceso básico (<20L/p*d)	Recolección a 100-1.000 metros de distancia	Consumo: se debe asegurar	Alto
		Higiene: Es posible el lavado de alimentos e higiene básica	
Acceso intermedio (50L/p*d)	Agua de abastecimiento a través de un drifo público (100 m)	Consumo: asegurado	Bajo
		Higiene: higiene básica y alimentaria asegurada	
Acceso óptimo (>100 L/p*d)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	Consumo: todas las necesidades atendidas	Muy bajo
		Higiene: todas las necesidades atendidas	

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS). (2003). *La cantidad de agua domiciliar, el nivel del servicio y la salud*.

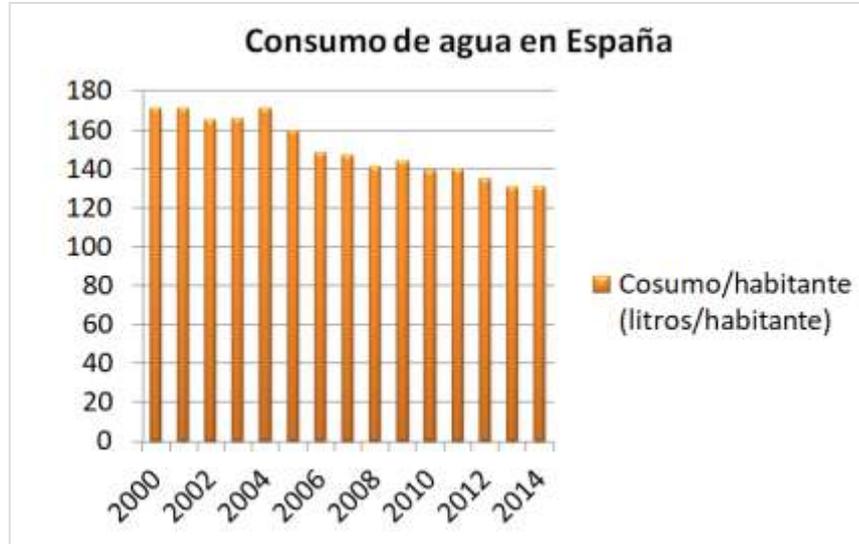
Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/es/

Aunque estos no son los únicos usos del agua, ya que la mayor parte es industria y agricultura. Sumando estos consumos, obtenemos que el consumo medio por habitante en un día sean 450 litros mínimo. Sin embargo, la media mundial de uso de agua es de 800 litros por persona al día. Lo que supone casi el doble de lo estrictamente necesario. En la media mundial, influyen muchos países ricos que tienen un gasto desorbitado. Este uso del agua, no sólo compensa los países no desarrollados que apenas llegan a los 50 litros mínimos, sino que hacen que el total aumente hasta los 800.

Al nivel mundial, del que estamos hablando, la cantidad de agua usada en un año sería de más de 2000 km³, que aunque es una proporción pequeña respecto al total de agua de consumo (0,75%), es lo suficientemente grande como para influir en el ciclo hídrico y hacer que la cantidad total se reduzca.

En los últimos años, gracias a la mayor conciencia por el consumo responsable y el desarrollo de tecnologías para ahorrar agua, el consumo por habitante en países tecnológicamente ricos como España, se ha ido reduciendo.

Imagen 3. 4: Consumo de agua por habitante en España

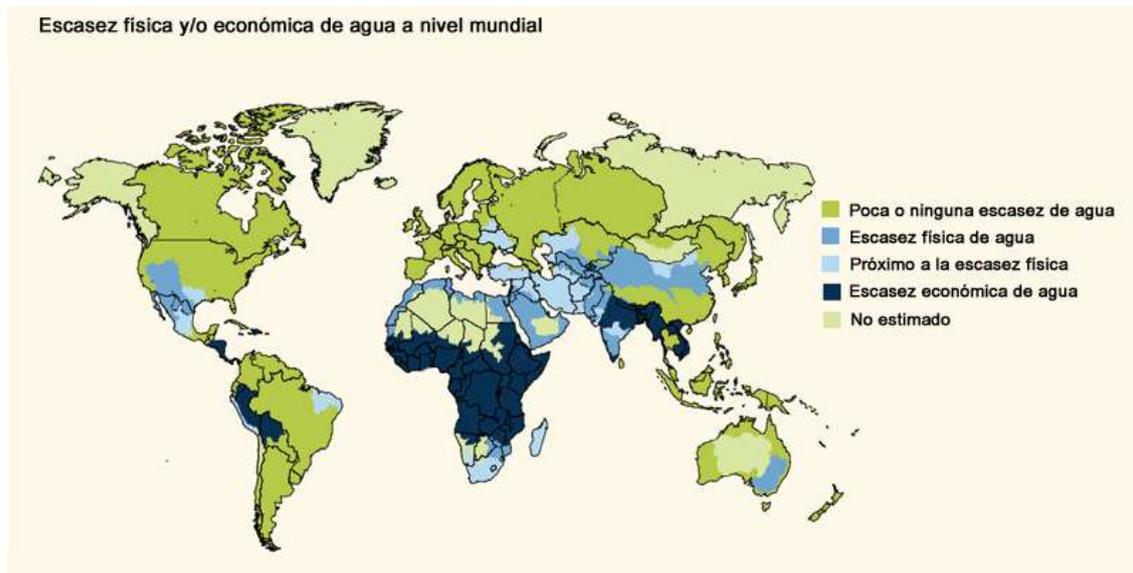


Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Los datos recogidos en la tabla van referidos al consumo humano, sin contabilizar el uso industrial y agrícola por persona. De igual modo tenemos a la Región de Murcia, que ha pasado de consumir 142 litros por persona al día a unos increíbles 126 dm³. Si bien es cierto el esfuerzo que se está haciendo para reducir el consumo de agua por persona, no es suficiente para enfrentar el aumento de población, ya que la población crece más rápido de lo que disminuye dicho consumo. Además, el sector industrial y agroalimentario no se reducen, sino que continúa invariable o tiene un pequeño aumento. Es normal que suceda esto, debido a la mayor demanda eléctrica y de alimentos.

Aunque hay agua suficiente como para satisfacer a todo el mundo, el incorrecto empleo del recurso hace que muchos estudios nos alarmen ante un futuro escenario en el que el agua sea un lujo en vez de un derecho. No obstante, no hay que mirar al futuro para ver zonas totalmente devastadas por la falta de agua. Concretamente, 2.500 millones de personas, lo que supone el 30% de la población global, se encuentran en zonas en las que la demanda de agua es superior al consumo. Esta crisis hídrica se puede deber a dos factores. El primero de ellos es por la falta de agua en la determina zona geográfica, la denominada escasez física. El segundo se debe a que, aún siendo una zona con abundancia de agua, los costes o dificultad de extracción, transporte o tratamiento son tan altos que se convierte en un lujo más que un derecho. A este último factor se le llama escasez económica del agua.

Imagen 3. 5: Zonas de escasez hídrica.



Fuente: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DAES). (2015). Decenio Internacional para la Acción 'El agua fuente de vida' 2005-2015. Recuperado de: www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml

En la ilustración se pueden contemplar las diferentes zonas de estrés hídrico y su causa. Se observa que las zonas de África y Asia central son las más afectadas por el estrés hídrico. Aunque en las zonas africanas es un conjunto de escasez física y económica, en la zona china, sólo tenemos escasez física.

En este apartado del documento, nos hemos centrado en la escasez debida al aumento de población. Esto es lo que ocurre en países como China o India, donde la densidad demográfica es tan grande, que aunque se dispone de los medios económicos para obtener agua suficiente para la superficie del país, no es suficiente para la cantidad de gente a la que abastecer.

3.1.2.2. El agua como recurso escaso

Según Naciones Unidas, el consumo de agua se ha duplicado en los últimos 50 años. Además más de 2.000 millones de personas no tienen acceso a un saneamiento básico. Sin este saneamiento básico, enfermedades fácilmente tratables no puedan ser solucionadas.

Para países pobres, en los que las infraestructuras son menores y los sueldos son más precarios, conseguir agua es una auténtica odisea. En muchas de estas zonas, las personas tienen que andar kilómetros para obtener agua con la que pasar la semana. En países ricos como el nuestro esto nos parece desorbitado. Además, en países donde la escasez es extrema, el precio del agua es muy superior al coste medio de países como Inglaterra, EEUU o Japón.

Tabla 3.2: Comparación de precios con salario medio por país.

PAÍS	PRECIO CADA 50 L	ACCESO	RELACIÓN CON EL SUELDO MEDIO
Papúa Nueva Guinea	2,16 €	Servicio de entrega de agua	54%
Madagascar	0,50 €	Camión cisterna	45%
Ghana	0,53 €	Camión cisterna	25%
Mozambique	0,11 €	Vendedor ambulante	13%
Reino Unido	0,08 €	Red troncal	0,1%



Fuente: Zarza, L.F. (2017). *La Guerra del agua, un futuro distópico no tan lejano*.

Recuperado de: <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/7805576/09/16/Casi-un-cuarto-del-suministro-de-agua-en-Espana-se-desperdicia.html>

En países con mayor estrés hídrico, en los que no hay redes de tuberías hasta los puntos de consumo, el precio se encarece. Se encarece debido al coste de la extracción y transporte del agua. Sumando, que coincide con sueldos precarios. En países como Ghana, cuyo salario medio es de 217,87 €, se gasta un 25% en agua. Este porcentaje es relativo a un sueldo medio, si lo comparamos con el salario mínimo, el porcentaje rondaría el 50%.

Por ello, muchos países con el perfil de Ghana, donde el agua es un lujo, están entrando en disputas para su control. Así, países como Israel y Palestina o Bolívar y Chile, entran en conflictos, algunos políticos, otros armados, por el control de los recursos naturales.

Viendo estos conflictos queda claro la importancia del agua y su control. Desde el siglo pasado, el aumento de población y avance en la industria causa una sobreexplotación del agua que, aunque se trata de un recurso abundante, también hay escasez del mismo.

3.1.2.3. Sobreexplotación del recurso

Se entiende por sobreexplotación a la “utilización en exceso de cualquier tipo de recurso” según la RAE. Esto quiere decir, cualquier recurso que se gasta más rápido de lo que se recompone.

La sobreexplotación es el conjunto de todas las acciones, a lo largo del recorrido del agua, que hacen un mal uso del recurso, poniendo en peligro su futura existencia. Así, en el camino del agua, vamos desde la extracción del recurso hasta su consumo, pasando por transporte y depuración, si fuera necesario.

El agua que consumimos puede proceder de diferentes orígenes. Es muy importante saber su procedencia pues es lo que determinará las fases posteriores. Por ejemplo, si en una determinada ciudad se consume agua recogida a 400 kilómetros de distancia, será muy importante el estudio del transporte para hacerlo de la manera más eficiente y con la menor repercusión hídrica y ambiental. Lo mismo ocurre con la potabilización, dependiendo del origen del agua habrá que darle unos tratamientos u otros o incluso ninguno en algunos casos.

Tabla 3 3: Extracción del agua.

Origen	Extracción	Posible contaminación	Tratamiento
Agua de pozo	Napa subterránea, formada a partir de agua de lluvia	Sí, a partir de fumigaciones, residuos industriales o cañerías. Principalmente nitratos o nitritos	Electrolísis, ósmosis inversa, eliminación biológica...
Agua de red	Agua de ríos y lagos	Sí, a partir de fumigaciones, residuos industriales o materiales orgánicos como parásitos y hongos	Potabilización mediante cal, sulfato de aluminio e hipoclorito de sodio
Aguas minerales	Yacimiento subterráneo	Pueden tener un alto contenido en sodio	A partir de ósmosis inversa

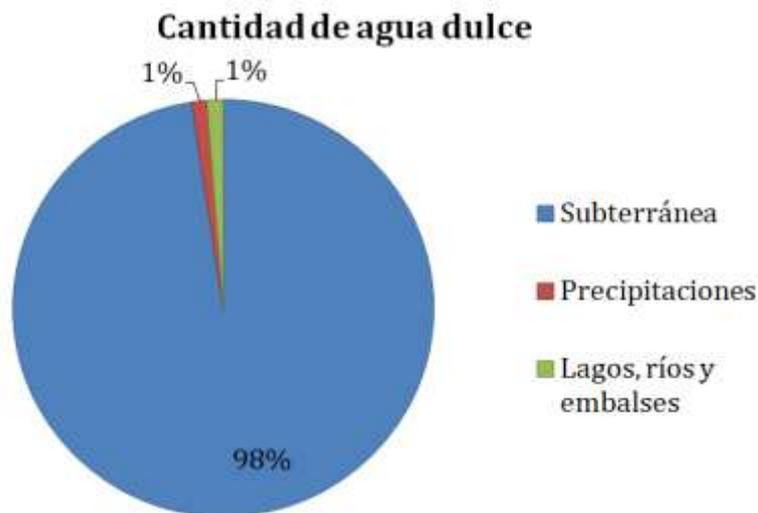


Fuente: Cuidateplus. (2001). *De dónde se extrae el agua.*

Recuperado de: <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/nutricion/2001/03/21/donde-extrae-agua-9987.html>

Entonces los principales abastecimientos de agua son las cuencas subterráneas, las precipitaciones, en forma de lluvia, ríos, lagos y embalses, encontrándonos la mayor parte de agua en lagos subterráneos.

Imagen 3. 6: Distribución de abastecimiento de agua dulce.



Aunque esta es la distribución del agua de abastecimiento, si nos fijáramos en el total de agua dulce que existe veríamos que casi el 65% está en forma de glaciares, hielo y nieve permanente.

Las zonas de glaciar permanente, son lugares formados por hielo, donde éste crece más rápido en invierno de lo que se fusiona en verano. Es decir, en verano el hielo no se derrite en su totalidad, por tanto le da tiempo a recomponerse en invierno.

Los glaciares son de gran importancia a nivel de climatología. Su presencia significa un descenso global de la temperatura en la tierra y un límite para la salinidad del agua. Como bien sabemos, es un área que también está en peligro, por los continuos cambios meteorológicos de la Tierra y la actividad del ser humano. Sin embargo, su gran cantidad de agua dulce nos lleva a pensar en obtener agua de ellos, debido a la escasez mundial del recurso. Entonces, ¿por qué no se sitúa en el anterior gráfico?

Aunque, como se ha explicado, las zonas árticas y de hielo serían una gran fuente de agua, el debate de si utilizarla está sobre la mesa. Antiguamente, este debate no existía debido a la incapacidad tecnológica, pero esto ha cambiado en los últimos años. En la actualidad se está empezando a comerciar con agua de los glaciares del Tíbet y de Noruega. No sólo eso, sino que llegan a precios de casi 100 € la botella. Los expertos advierten que esto provocará efectos devastadores en el medioambiente. Y es que no sólo supone una acción agresiva la extracción del agua, sino que mediante el transporte, el proceso de embotellar y la distribución, desembocan en que para cada botella de 750 ml, necesitamos 3 L de agua. Por esto, no lo trato en mi estudio, aparte de no ser un abastecimiento general, sino que es un lujo, por tanto la cantidad de agua es despreciable respecto al total de ríos, cuencas subterráneas y precipitaciones.

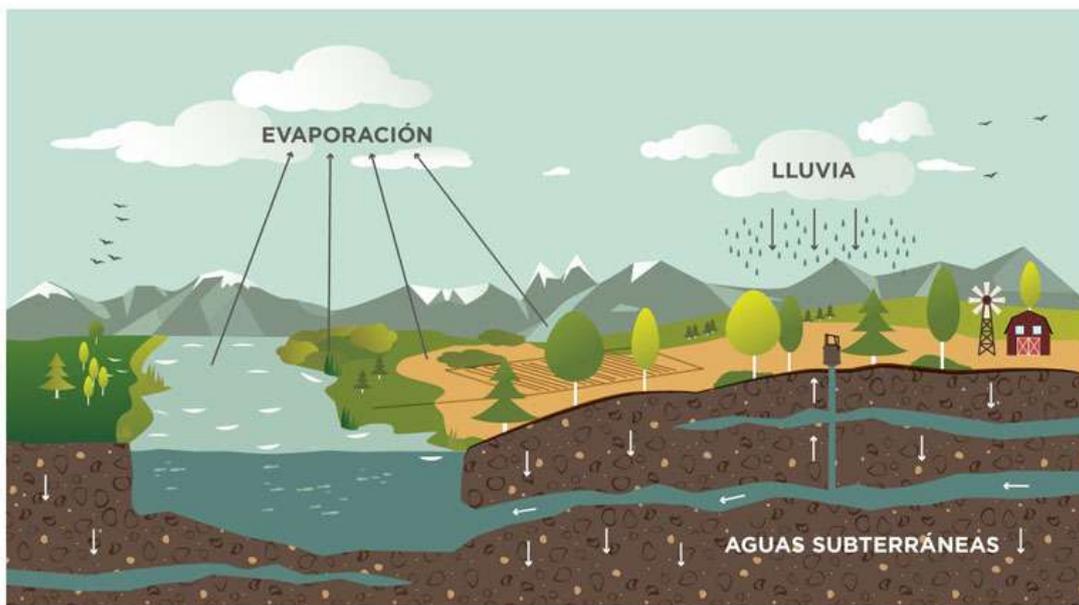


Si volvemos a la Imagen 3.6, vemos que la napa subterránea supone el 98% del agua dulce total. Por tanto, es lógico que la mayor parte de agua que consumimos tenga este origen. Así, el 50% del agua que ingerimos procede del subsuelo, llegando a 70% en zonas de escasa precipitación y sequía. El principal problema que tienen es su sobreexplotación. Según el informe de la UNESCO de 2015, las aguas subterráneas abastecen de agua potable al 50% de la población mundial, además representa casi la mitad del agua utilizada en el regadío. De estas aguas, según dicho informe casi el 20% de los acuíferos están sobreexplotados, lo que significa que se están extrayendo mayor cantidad de agua de la que se pueda reponer, lo que lleva a unas desastrosas consecuencias en el futuro.

Al estar bajo tierra, es muy difícil saber su deterioro o agotamiento hasta que no es irreversible. Además, aunque son más difíciles de contaminar que las aguas superficiales, una vez que lo están, su limpieza es muy lenta, estimando que la renovación total del agua subterránea tarda más de 100 años.

En el ciclo hidrológico intervienen multitud de agentes. Al estar interrelacionados entre todos hace que la variación en uno de ellos afecte al resto, en mayor o menor medida. Así, tomando el agua subterránea como origen, vemos que se comunica con mar, ecosistemas, población e incluso precipitaciones.

Imagen 3. 7: Ciclo hidrológico del agua subterránea.



Fuente: Aquabook. (2016). *El lugar del agua subterránea en el ciclo hidrológico*. Recuperado de: http://aquabook.agua.gob.ar/400_0

En la imagen anterior vemos dos ciclos. El primero de ellos, a la izquierda de la imagen, es el ciclo del agua sin intervención humana. El segundo, a la derecha de la ilustración, el ciclo del agua de consumo humano. Esta agua se extrae mediante un pozo y se transporta hasta viviendas o redes de distribución. Aunque parezcan separados uno de otro, estos ciclos se relacionan entre ellos, así la acción del hombre influye en el ciclo hídrico “natural” y dicho ciclo influye en el del consumo humano. En zonas de sequía en las que el ciclo hídrico tenga una baja frecuencia, el agua de extracción será menor que en zonas con una mayor frecuencia.



En el marco nacional, España es uno de los países con mayor cantidad de agua subterránea, sin embargo, a causa de una ineficiente gestión no se ha podido aprovechar de la manera correspondiente. Sin embargo, abastecen al 14% de la población y son pieza fundamental en la producción agrícola.

Como se ha dicho anteriormente, en la Imagen 3.7 se ven dos ciclos. El malgasto del recurso hídrico, se lleva a cabo en el ciclo con interacción humana (el de la derecha). Y no sólo pasa esto, en los ciclos de extracción de agua subterránea, sino que en todos los ciclos del agua (lagos, ríos, embalses) en los que interviene la acción humana hay un impacto sobre el medio, ya sea en mayor o menor medida.

El mal uso del agua, influye en su sobreexplotación. Al gastar este recurso innecesariamente, hacemos que la extracción de agua en cuencas subterráneas, ríos y lagos aumente. Así, a diario vemos ejemplos de uso descontrolado del agua, que aunque parezcan mínimos en una escala reducida, a nivel global puede tener graves consecuencias. Por ejemplo, si nos centramos en la actividad de lavar los platos a mano, sin cerrar el grifo mientras se enjabona, podemos ver valores preocupantes del uso errático del agua. Así, si un grifo promedio proporciona 12 l/min, cada 30 segundos que el grifo se encuentre abierto, gastaremos unos 6 litros. Ahora, si es en una escala mundial, podríamos hablar de un desastre. Por lo tanto, detalles como éste son fundamentales para reducir la explotación de los recursos naturales de donde se extrae el agua.

Otro mal uso del agua, que afecta bastante a España, es la pérdida por transporte. Aunque no es un mal uso en sí mismo, sí supone una pérdida evitable de agua.

Nuestro país cuenta con ingenieros, materiales y organizaciones de calidad suficientes para realizar las infraestructuras necesarias para el correcto transporte del agua, sin embargo esto no sucede. De hecho somos uno de los países con más pérdidas.

Tabla 3.4: Porcentaje de pérdidas respecto al agua suministrada en Europa.

PAÍS	PÉRDIDAS
Holanda	5%
Alemania	7%
Austria	9%
Suecia	<20%
Bélgia	<20%
Reino Unido	<20%
Hungría	<20%
España	25%
Francia	27%
Italia	35%

Fuente: ElEconomista. (2016). Casi un cuarto del suministro de agua en España se desperdicia.

Recuperado de: <https://www.economista.es/empresas-finanzas/noticias/7805576/09/16/Casi-un-cuarto-del-suministro-de-agua-en-Espana-se-desperdicia.html>

Que la cuarta parte del agua suministrada se desperdicie en el país con el mayor estrés hídrico de Europa (España) supone un problema para gobierno e instituciones encargadas de la gestión del agua. Y es que, aunque las redes hídricas tienen avances como embalses, los



cuales controlan el caudal de río, impidiendo desbordes en época de lluvia torrencial y falta de suministro en sequías, en otros aspectos no somos tan punteros.

La geografía de España supone un reto para los ingenieros que diseñan las redes de suministro hídrico, por ello “de momento, ese 25% es un porcentaje asumible” según Francisco Morcillo, presidente de AEAS (Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento). Si desglosamos las pérdidas por localidad hay gran variedad en la cantidad de agua desperdiciada. Así, ciudades comunidades como Madrid o País Vasco no llegan al 9% de pérdidas, otras, como las Islas Canarias, presentan zonas de más del 50%.

Si comparamos los datos de España, con la media global, vemos que son muy inferiores. En nuestro planeta se pierden 15 millones de metros cúbicos debido a fugas. Este dato supondría el agua de abastecimiento de 65 millones de personas.

Las dos principales causas de sobreexplotación son el mal uso o gasto de agua y la contaminación. Una vez que tenemos claro los sectores puntos donde habría que mejorar el proceso de extracción, transporte y distribución del agua, falta hablar sobre la contaminación del agua y su futuro.

Cantidad de estimaciones advierten que, para 2050, los lagos con floraciones de algas nocivas aumentarán un 20%. Esto es debido a la eutrofización. Este proceso consiste en el aumento de nutrientes en el agua, lo que puede desembocar en contaminación. Aunque es un proceso que puede ser natural, en la mayoría de los casos es de origen artificial a partir de efluentes urbanos, fertilizantes inorgánicos de origen industrial o contaminación atmosférica (NO_x y SO_x). Este aumento de la contaminación, provocará un aumento en el consumo energético al tratar de reacondicionar el agua una vez la extraigamos de dichos lagos.

La contaminación por efluentes suele ser de origen industrial, ya que las terminaciones de cada industria suelen acabar con vertidos, ya sea al mar o lagos cercanos. Y en cuanto a la contaminación por precipitaciones atmosféricas, hay fábricas que expulsan SO_x y NO_x junto a humo o vapor de agua, que debido al ciclo del agua, llega a lagos y océanos a través de precipitaciones.

Si al problema de la contaminación le sumamos que la Industria es el segundo sector que más litros emplea, tras la agricultura, es normal que para buscar un correcto uso del agua nos tengamos que centrar en los procesos industriales.

3.2. RELACIÓN AGUA-ENERGÍA

3.2.1. Introducción

En capítulos anteriores de este documento, se ha puesto en manifiesto varias veces que agua y energía están comunicadas, ¿pero cuán estrecha es su relación?

Sabemos que en todo el ciclo del agua, desde su recogida hasta el abastecimiento a las personas, son necesarias una serie de actividades que requieren energía. Lo mismo pasa al contrario, la mayoría de métodos para conseguir energía se utiliza agua, ya sea utilizándolo como refrigerante o haciendo uso de su energía potencial. Según la ONU el 75% del agua que llega a la industria se utiliza para la producción de energía. Este valor varía dependiendo el tipo de industria. Por ejemplo, si es de tipo agroalimentaria, gran parte del agua se utiliza para riego de cultivos.



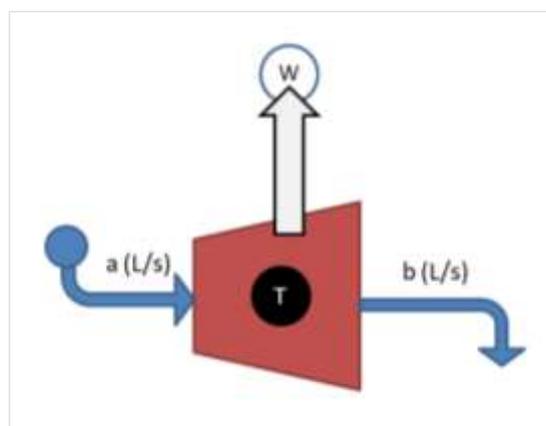
Otro factor común entre agua y energía es que, aunque hay gran abundancia de ambos recursos, lo que consumimos es una parte muy pequeña. El uso del agua respecto al total ya fue expresado en el punto 3.1.1. de este documento. En cuanto a la energía, del sol nos llega unos 6×10^{24} J, de los que utilizamos sólo 500×10^{18} . Así mismo, aunque se trata de dos recursos abundantes, hay escasez de ambos. Tanto agua, la cual sólo podemos usar un 1% del total, y energía, la demanda es mayor a su oferta. Esto a medida de los años va a ir incrementándose, ya que cuanto mayor sea la población, mayor cantidad de agua necesaria, menor agua para las industrias y por tanto menor capacidad de conseguir energía para una sociedad que será enteramente tecnológica. Algunos informes, como el de la ONU en 2014, señalan que el consumo de agua aumentará en un 40% en 2050 para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad.

Muchos artículos se han escrito en los últimos años sobre estos dos recursos, muchos de ellos haciendo un estudio en un panorama global. Simples acciones como hacer una búsqueda en internet llevan un gasto de agua. Según estudios realizados por el *Centro de la Políticas Ambientales del Imperial College* de Londres, cada gigabyte que consumimos, hay un gasto de agua de 200 litros. Ante este dato, Boa Ristic, Kaveh Madani y Zen Makuch hicieron un estudio de la huella hídrica en los centros de datos. Los centros de datos son espacios donde las empresas alojan servidores y sistemas de almacenamiento. Aunque actúa como una empresa normal, es de gran interés debido al creciente uso de infraestructuras tecnológicas. El uso que se tiene de agua es para refrigeración y como medio para obtener energía como en cualquier otra industria.

3.2.2. Agua para la energía

Cuando hablamos de obtener energía a partir de agua, lo primero que se nos viene a la cabeza son las centrales hidroeléctricas, donde se aprovecha la energía potencial de un determinado cauce para mover unas turbinas que generarían una determinada energía eléctrica.

Imagen 3. 8: Funcionamiento de una turbina de central hidroeléctrica.



En la Imagen 3.8 se puede observar el funcionamiento de la turbina de una central hidroeléctrica, que es la pieza más importante para la obtención de energía. El agua, de una presa es conducida a partir de una tubería estrecha hasta dicha tubería con una alta presión y con un flujo volumétrico de “a”, al pasar por la turbina el flujo disminuye hasta “b” ($b < a$) y se extrae trabajo que es utilizado para mover el generador de electricidad. Este es uno de los principales instrumentos donde se utilizan de manera conjunta agua y energía y está



presente en muchos procesos en los que se requiere un trabajo a partir de un flujo. El caso contrario sería un compresor, donde si utilizamos energía para mover las aspas de su interior, podemos aumentar el flujo del agua.

Quedando claro la relación entre agua y electricidad en una hidroeléctrica, como se ha descrito anteriormente, este no es el único proceso en el que se relacionan el recurso hídrico y alguna forma de energía. Así la huella hídrica dependiendo del tipo de energía que se origina es la siguiente, según *fenecorm*:

Tabla 3 5: Huella hídrica (m³/GJ) asociada a cada tipo de industria energética.

Energía Primaria		Promedio de huella hídrica global
No Renovables	Gas natural	0,11
	Carbón	0,16
	Petróleo	1,06
	Uranio	0,09
Renovables	Eólica	0
	Solar	0,27
	Hidroeléctrica	22
	Biomasa	70 (entre 10-250)

Fuente: Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2012). *Guía sobre Hidroeficiencia Energética*.

Según los datos de *fenecorm* la empresa energética que más agua consume por gigajulio generado es la biomasa, seguida por la hidroeléctrica.

Utilizando las gráficas ofrecidas por la Red Eléctrica Española, podemos hallar los metros cúbicos gastados por cada tipo en una semana representativa. Se han escogido las semanas del 21 de enero, del 21 de abril, del 21 de julio y del 21 de octubre del año 2018, como ejemplos prácticos para las estaciones de invierno, primavera, verano y otoño. Se ha seleccionado una semana entera y no un día debido a que sectores como el eólico dependen mucho de las condiciones meteorológicas y puede pasar que las medidas sean atípicas. Se ha hecho media entre todas las horas de un día.

Tabla 3 6: Demanda (MW) de energía eléctrica.

ESTACIÓN	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
EÓLICA	7308,52	6311,02	4144,08	4602,17
NUCLEAR	7098,42	5052,94	6020,16	7050,93
FUEL/GAS	0,00	0,00	0,00	0,00
CARBÓN	4868,30	2261,25	4887,94	4767,94
CICLO COMBINADO	2834,79	1562,55	2491,09	3862,13
HIDÁULICA	2642,64	6238,16	3995,67	2364,46
BIOMASA	513,04	513,04	513,04	513,04
SOLAR	947,25	1867,46	2445,96	886,77

Fuente: Red Eléctrica de España. Recuperado de: ree.es

El valor constante en la biomasa se debe a que para verlo en una gráfica a tiempo real (como el resto de los valores) sus datos entran dentro de un apartado llamado “cogeneración y residuos” y es imposible desglosar la biomasa de estos últimos. Entonces, a partir de un mapa de instalaciones, también ofrecido por la página web de *Red Eléctrica de España*,



podemos obtener que los vatios totales a partir de biomasa sean 513.035 W. Así, haciendo unos sencillos cálculos de conversión, se puede llegar a saber la huella hídrica total en España, dependiendo del tipo de estación utilizada.

Tabla 3.7: Demanda en GJ/h en base a la estación eléctrica.

ESTACIÓN	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
EÓLICA	26310,67	22719,67	14918,69	16567,81
NUCLEAR	25554,31	18190,58	21672,58	25383,35
FUEL/GAS	0,00	0,00	0,00	0,00
CARBÓN	17525,88	8140,50	17596,58	17164,58
CICLO COMBINADO	10205,24	5625,18	8967,92	13903,67
HIDÁULICA	9513,50	22457,38	14384,41	8512,06
BIOMASA	1846,93	1846,93	1846,93	1846,93
SOLAR	3410,08	6722,84	8805,46	3192,38

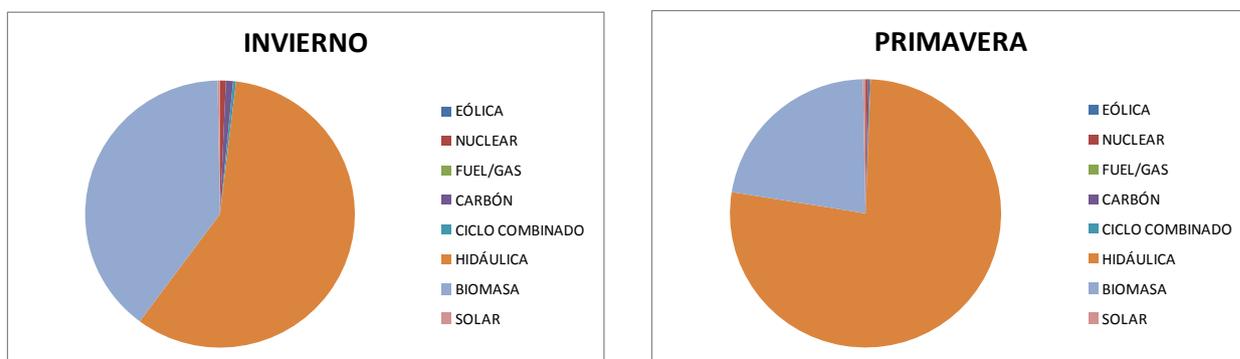
En la Tabla 3.7 se ha calculado la demanda en GJ/h a través de los vatios ofrecidos por ree.es. Lo que queda es calcular la demanda hídrica total por sector y estación. Para hallarla utilizaremos los valores de la Tabla 3.4, que nos proporcionan el volumen de agua por gigajulio de energía.

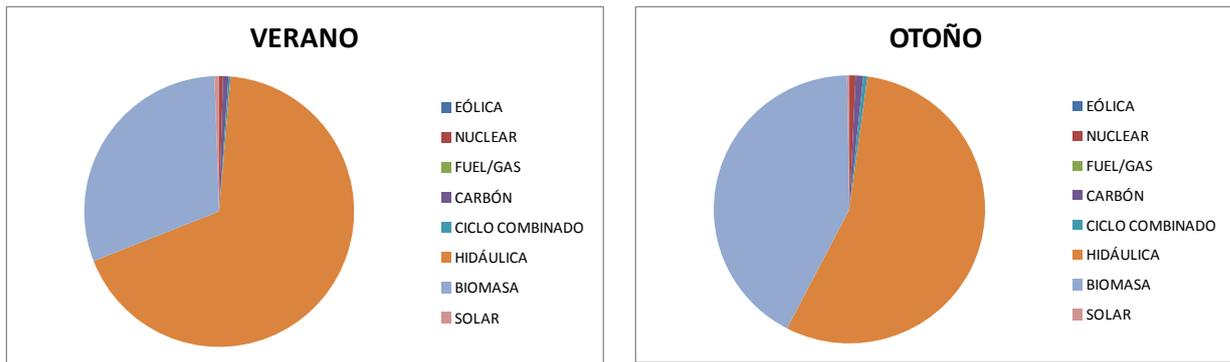
Tabla 3.8: Demanda hídrica (m³/h) de la energía en cada estación del año.

ESTACIÓN	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
EÓLICA	0,00	0,00	0,00	0,00
NUCLEAR	2299,89	1637,15	1950,53	2284,50
FUEL/GAS	0,00	0,00	0,00	0,00
CARBÓN	2804,14	1302,48	2815,45	2746,33
CICLO COMBINADO	1122,58	618,77	986,47	1529,40
HIDÁULICA	190270,08	449147,52	287688,24	170241,12
BIOMASA	129284,82	129284,82	129284,82	129284,82
SOLAR	920,72	1815,17	2377,47	861,94

Poniendo estos valores en 4 gráficos diferentes, uno por cada estación, se quedan de la siguiente manera:

Tabla 3.9: Gráficas por estación del consumo de agua (m³/h).





Se puede observar que la mayor demanda de agua es en las plantas de biomasa (22-42%) y la hidráulica (55-77%). Este dato es una confirmación de lo que se pensaba a partir de la Tabla 3.5. La novedad es que gracias a estos cálculos se puede alcanzar a saber de una manera bastante exacta cuánto es el gasto de agua en metros cúbicos por hora y por empresa eléctrica, siendo de gran interés para futuros proyectos de huella hídrica.

Queda demostrado que las cantidades de agua usada para obtener energía son bastante grandes. Así para una correcta eficiencia en el uso del agua y para formar un correcto plan de hidroeficiencia hay que tener en cuenta la forma en la que obtenemos la energía.

3.2.3. Energía para agua

Una vez visto que el agua es uno de los agentes principales en la obtención de energía, lo siguiente será describir el uso de energía en el agua.

Día a día, el agua que usamos lleva un consumo de energía (eléctrica, térmica o de otra naturaleza) en ella. Este consumo, es referido a la potabilización, el transporte y los tratamientos del agua residual.

3.2.3.1. Potabilización

Son diferentes los tratamientos que buscan alcanzar la calidad exigida en el agua. El tratamiento seleccionado dependerá del uso posterior de dicho agua.

Instalaciones como las ETAP (Estaciones de Tratamiento de Agua Potable) someten el agua a una secuencia de operaciones para potabilizarla. Las principales operaciones son: coagulación-floculación, decantación, filtración y desinfección. Aunque estos son los principales métodos, nuevos tratamientos como las membranas son cada vez más utilizados. Estas nuevas operaciones hacen que haya un aumento en el uso de la energía.

Otra forma de obtener agua potable es mediante la desalación, y al contrario que el resto, de esta operación tenemos datos estadísticos que nos dan una idea del uso de energía asociado a la potabilización del agua.

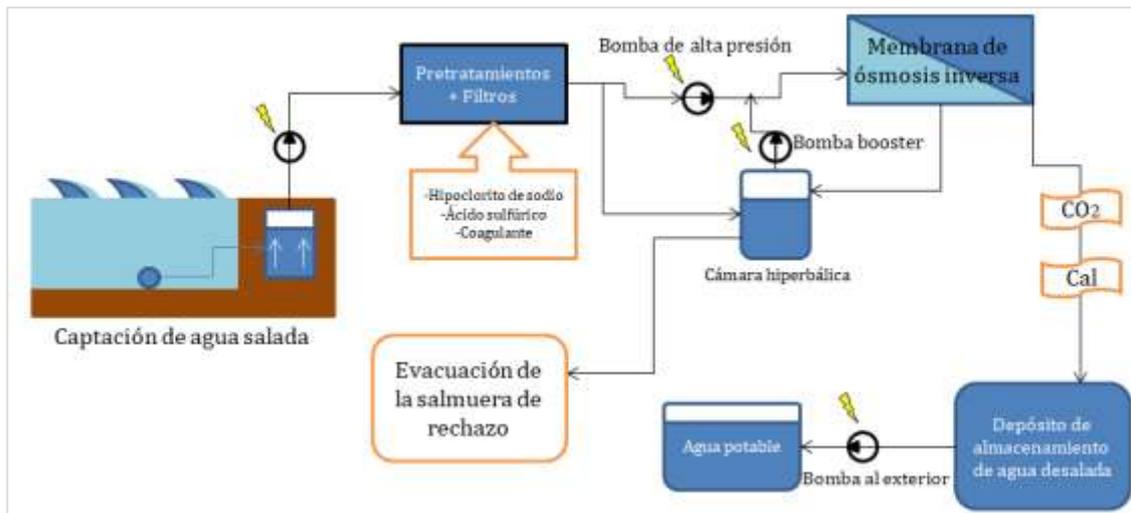
La desalación o desalinización *“es un proceso mediante el cual se elimina la sal del agua de mar o salobre. Las plantas desalinizadoras son instalaciones industriales destinadas a la desalinización, generalmente del agua de mar o lagos salados para obtener agua”*. (Zarza, 2017)

El objetivo principal de este tratamiento es la eliminación de la sal del agua para hacerla potable o utilizarla en industria, riego o agricultura. Esta eliminación se realiza a

través de la ósmosis inversa, una tecnología de purificación que está basado en el equilibrio de dos líquidos salinos con distinta concentración de cloruro sódico. Estos líquidos están separados por una membrana semipermeable que al aplicar una presión mayor a la osmótica (presión de equilibrio) se mueven. Pasando el agua pura de la parte de mayor concentración a la de menor concentración, reduciendo la salinidad total y dando lugar a un agua potable.

El ciclo de la desalinización cuenta con redes de tuberías, filtros, bombas y depósitos, la mayoría de ellos controlados eléctricamente.

Imagen 3.9: Planta de desalinización industrial.



Fuente: Martínez, G. (2016). *Baja California será líder en el país en plantas desaladoras*. Recuperado de: <https://www.economista.com.mx/estados/Baja-California-sera-lider-en-el-pais-en-plantas-desaladoras-20160711-0113.html>

Este proceso es uno de los más empleados en España para la potabilización del agua. Nuestro país se encuentra entre los 8 mayores en cuanto a capacidad de desalación se refiere. Además, poseemos grandes ingenieros y empresas encargadas en el diseño de infraestructuras para la desalación. Este gran interés se debe a la escasez de agua dulce en nuestro país, principalmente en el sudeste, y a estar rodeados por agua salada (mar Mediterráneo, océano Atlántico y mar Cantábrico).

Aunque el consumo eléctrico en desalación de agua en España se ha ido reduciendo (pasando del 5,3 a 3 kWh/m³), a través de modernización de industrias y equipos, sigue suponiendo el 1 % del consumo total energético.

Debido al alto consumo eléctrico, muchos estudios se han realizado durante los últimos años. Uno de ellos es producido por la Universidad de Alicante, en el cuál se estudió el uso de energía solar para satisfacer la demanda energética del ciclo de desalinización. Este proyecto se aplica principalmente a las zonas aisladas eléctricamente. Mediante la electrodiálisis se consigue recuperar entre el 80-90% del agua tratada. Además, al ser un proceso que se trata con energía renovable, está libre de emisiones de CO₂.

3.2.3.2. Tratamiento de aguas residuales

El ciclo del agua es un círculo cerrado, esto quiere decir que el agua que se recolecta es la misma que se envía a la naturaleza. El agua extraída se usa para los diferentes procesos

industriales, donde es posible que se contamine biológica, artificial o térmicamente. Enviarla de vuelta al medio ambiente sin tratamiento alguno sería perjudicial para cualquier ecosistema. Por ello, mediante una serie de tratamientos debemos alcanzar las propiedades adecuadas. Las características de los tratamientos dependen de a dónde se van a verter o en qué se va a utilizar, así como su proceso de origen. Además, las propiedades del agua están regidas por leyes municipales y estatales.

Viendo que los tratamientos de aguas residuales están presentes en cualquier proceso hídrico, es necesario un estudio de la energía que se gasta en adecuar el agua para verter o reutilizar.

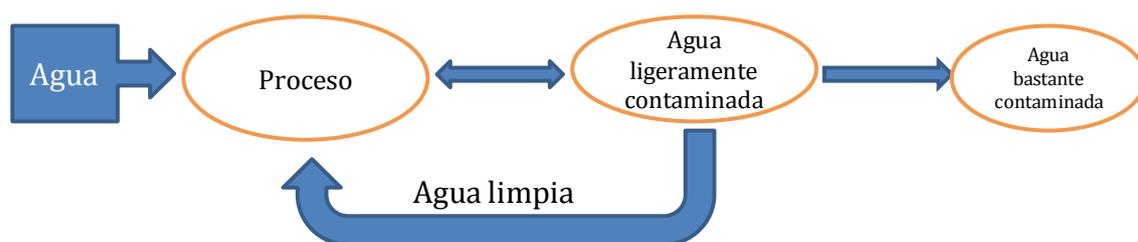
Este estudio se realizará a partir de datos del informe *Consumo energético del sector del agua* de la fundación OPTI.

Según la fundación, “la depuración de aguas residuales se realiza mediante una combinación de tecnologías físicas, químicas y biológicas de tratamiento que se aplican según las características de las aguas residuales a tratar y bajo criterios de funcionalidad, coste y efectividad.”

En el documento, se diferencia entre aguas residuales urbanas e industriales. Esto es debido a que para depurar aguas residuales urbanas no se utilizan los mismos métodos que para las industriales, aunque en la mayoría de los casos sean las mismas herramientas.

En la mayoría de los procesos industriales se consume agua y se generan aguas residuales. Debido a la carga energética que supone tratar las aguas residuales, muchas empresas se han propuesto reutilizar el agua durante el proceso. Por ello, durante el proceso de producción en las industrias, se va tratando el agua para poder reutilizarla. Así, nos referimos a aguas residuales, al agua que hay a final de línea. Al aumentar la reutilización de agua, el vertido será menor pero más contaminado, debido a que el agua limpia se vuelve al proceso y sus impurezas siguen su curso hasta el final de línea.

Imagen 3. 10: Contaminación del agua en un proceso industrial.



Según la fundación Botín, se supone que las estaciones de depuración consumen 0,66 kWh/m³, dato que combinado con los 4.097 hm³/año (ofrecido por AEAS, Asociación Española de Abastecimiento de agua y Saneamiento), nos permite calcular la energía que se emplea en tratamientos para depurar agua en España.

$$\frac{4097000000\text{m}^3}{\text{año}} * 0,66 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = \frac{2704020000\text{kWh}}{\text{año}} = 309526,099\text{kW} = 309,53\text{MJ/s}$$

Para que un determinado tipo de agua que viene de un proceso industrial sea óptima para un uso posterior, debe ser tratada. Hay diferentes tipos de tratamientos donde se



clasifican en 3 grandes grupos: primarios, secundarios y terciarios. Además, en la mayoría de estos procesos se hace un pretratamiento y una desinfección final.

- Primarios: Tratamientos físico-químicos, la coagulación, floculación y decantación. Tienen como objetivo eliminar materiales sólidos y que floten. Tratamiento más básico, centrado en efluentes con alta turbidez.
- Secundarios: Tratamientos biológicos. Se encarga de consumir las partículas biodegradables presentes en el agua, remover nutrientes inorgánicos, como el nitrógeno y el fósforo, y algunos componentes orgánicos.
- Terciarios: Tratamientos físicos intensivos o tratamientos avanzados. Se utilizan cuando se quiere agua para su reutilización.

Imagen 3. 11: Tipos de tratamientos.



Como pone en el Imagen 3.11, en el 5% del agua tratada sólo se emplean tratamientos primarios, en el 86% primarios y secundarios, y en el resto se utilizan los tres tipos. Aunque cada planta de tratamiento es totalmente diferente, se puede estimar que para los procesos de aireación se consume el 50% del total de energía de la planta.

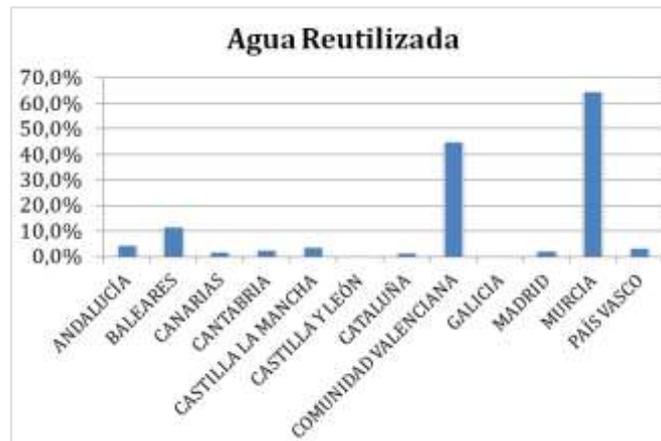
Ante la actual crisis energética, parece necesario optimizar cualquier proceso en el que haya una demanda eléctrica elevada. Uno de ellos es el tratamiento de aguas residuales. Debido a que sus infraestructuras y maquinarias están diseñadas a partir de métodos e ideas de hace décadas, su eficiencia no está todo lo explotada que podría ser. Así, algunos foros señalan que se podría optimizar hasta el 80% de la energía demandada. El principal problema es que al tratarse de sistemas de depuración, esta eficiencia se debe conseguir sin olvidar obtener la calidad de agua necesaria. Es decir, hay que tratar el problema enfocándose en el conjunto calidad-energía, poniendo la calidad por delante de la energía consumida.

Gracias al *informe de Hidroeficiencia fenecorm* de 2012, podemos saber que las principales áreas en las que hay que centrarse para optimizar el proceso de depuración son:

- Eficiencia en el bombeo de agua.
- Control de motores, incluyendo arranque suave.
- Aireación en sistemas biológicos de tratamiento.
- Mezcla.
- Pérdidas de agua.
- Gestión de la demanda, comportamiento del consumidor.
- Operación de digestores anaerobios.

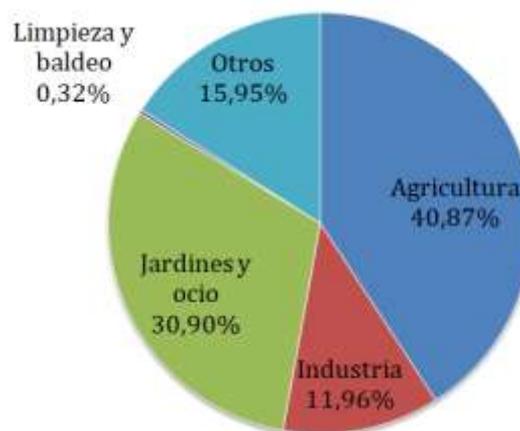
Concretamente, en España, estudiar los diferentes tipos de tratamientos y su consumo eléctrico es necesario, ya que nuestro país es uno de los que más agua reutilizan a nivel europeo, esto debido a las precipitaciones irregulares y su sequía. Entre las comunidades autónomas destacan las mediterráneas.

Imagen 3.12: Reutilización de agua por cada Comunidad Autónoma.



Además se sabe, mediante informes de AEAS, que la mayor parte del agua reutilizada se utiliza para la agricultura, siguiéndole actividades para la industria y la jardinería.

Imagen 3.13: Uso de agua reutilizada por operación.

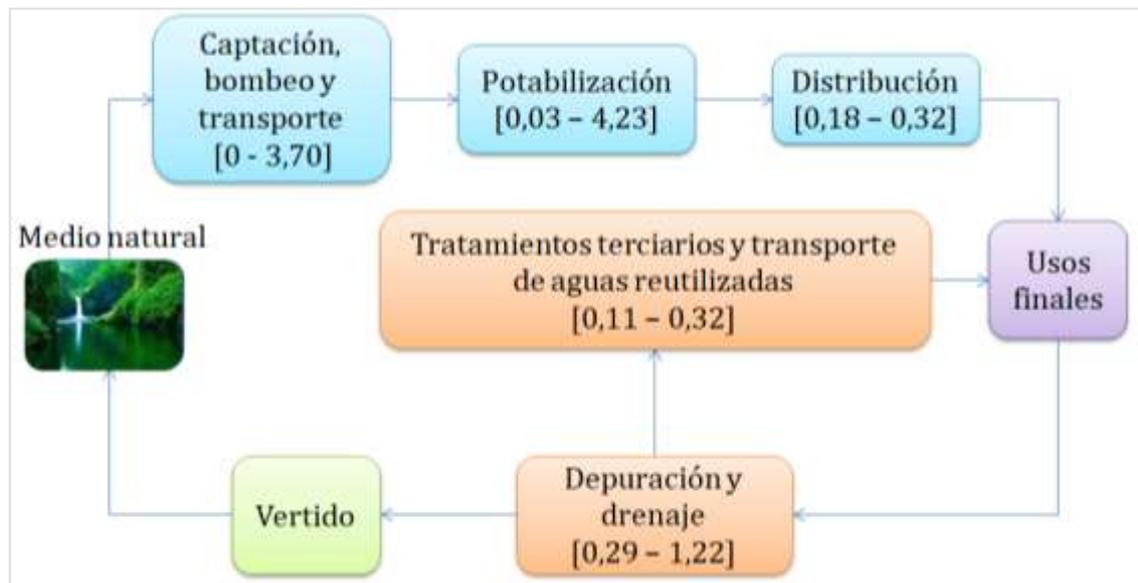


Junto a la reutilización del agua, a partir de los tratamientos, principalmente de las purgas de la decantación primaria y terciaria se obtienen lodos que se emplean para actividades como la agricultura o la jardinería.

3.2.3.3. Ciclo total: transporte y bombeo de agua

Anteriormente se ha descrito cuál es el ciclo del agua, desde su captación hasta su vuelta al medio ambiente, sin embargo, no se han descrito los pasos intermedios en los que el agua pasa diferentes procesos de tratado, antes de retornar a la naturaleza. La CEC (California Energy Commission) nos proporciona un mapa conceptual a partir del cual vemos el recorrido del agua y su consumo energético por tramo.

Imagen 3.14: Consumo energético (kWh/m³) por operación.



Fuente de imagen: Gardey, A. (2015). *Definición de Ambiente Natural*. Recuperado de: <https://definicion.de/ambiente-natural/>

Aunque las medidas de este esquema son de California, se podrían aplicar a España, ya que como hemos visto en anteriores apartados, el consumo energético de potabilización del agua (mediante desalación) es de 3 kWh/m³ y el de tratamientos de aguas residuales de 0,66 kWh/m³. Ambos valores están dentro de los intervalos que se dan en la Imagen 3.14.

En el bloque de “Usos finales”, no aparece ningún intervalo energético. Contrario a lo que se pueda pensar, la falta de datos no es por un consumo despreciable, sino que se trata de un consumo muy característico de cada país, llegando incluso a triplicar el uso energético de potabilización y transporte juntos.

En el ámbito nacional, el consumo eléctrico debido al uso del agua supone un 10% del consumo eléctrico total, estimándose en unos 200.000 GWh/m³ al año (CNE, 2006). En adición a esto, una reducción del 20% del consumo urbano de agua, reduciría el uso eléctrico en un 2% nacional.

Volviendo a la Imagen 3.14, se puede observar que los mayores gastos energéticos son la etapa de captación, transporte y bombeo, la de potabilización y las de depuración. Las dos últimas ya han sido estudiadas en los apartados 3.2.3.1. y 3.2.3.2. respectivamente. Por ello, ahora nos centraremos en el primer tramo del ciclo del agua.

Una vez captada el agua es necesario un transporte para llevarla desde su lugar de recogida hasta los puntos donde se va a tratar o utilizar. En este traslado de la masa hídrica, se necesitan estaciones de bombeo para evitar el estancamiento y solventar los desniveles geográficos del recorrido.

En todo el camino que surca el agua desde su recogida hasta su uso, agua y energía están entrelazadas. El primer factor por el que se relacionan son las bombas hidráulicas. Para que estas bombas funcionen necesitan un aporte eléctrico. La capacidad de presurización y el caudal determinan el consumo energético. Aunque el consumo de agua varía a lo largo de un



día, en las horas de noche hay menos consumo que en las de día, según *el informe de Hidroeficiencia fenecorm* la presión en los puntos de consumo se mantiene entre 25 – 35 mca (metro de columna de agua).

La energía mecánica que se proporciona al fluido a través de la bomba, viene dada por la siguiente ecuación:

$$\Delta E_m = gH_m = \left(\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz \right)_e^s$$

Tabla 3.10: Términos de la ecuación de la energía de una bomba.

Símbolo	Significado
E_m	Energía mecánica
g	Gravedad
H_m	Altura manométrica
p	Presión
ρ	Densidad del fluido
v	Velocidad del fluido
z	Altura

Esta ecuación viene dada en el libro de *Ingeniería de Fluidos* del profesor Antonio Viedma Robles, siendo muy útil para cálculos de energía usada en las estaciones de bombeo encargadas del suministro de agua.

El principal problema en el transporte es la pérdida de energía por fricción en las tuberías. Este fenómeno hace que las bombas necesiten hacer un sobreesfuerzo al impulsar el agua. Además sabemos que la fricción depende del tamaño de la tubería y el caudal impulsado, por tanto es necesario saber cuál es el tamaño óptimo de la tubería y cómo se comporta el caudal respecto a la presión necesaria proporcionada.

La relación que encontramos entre el caudal circulante y las pérdidas por fricción se pueden representar a partir de una curva, denominada curva de consigna. Por el contrario, a medida que tenemos un mayor caudal, la presión que es capaz de aportar al fluido es menor. Esto se explica a partir de la siguiente expresión:

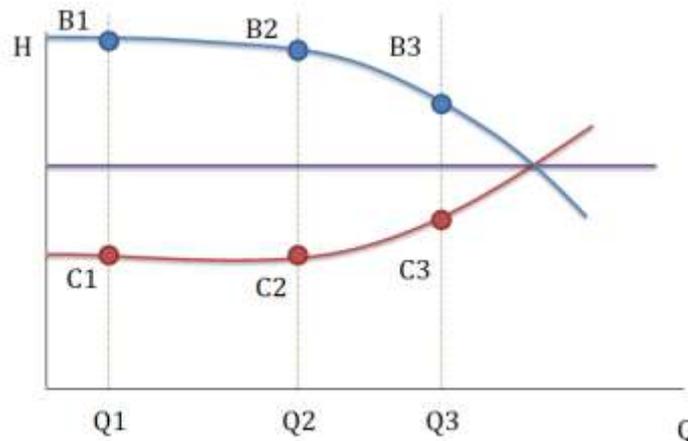
$$H_m = H_g + \Delta H_{pérdidas}(Q)$$

Esta ecuación, también sacada del mismo libro del profesor Viedma, expresa que la presión que ofrece la bomba es igual a la necesaria para superar una cota geométrica (H_g) más la equivalente a las pérdidas por fricción. Como hemos visto, a medida que aumenta el caudal la energía desprendida por rozamiento es mayor, por tanto $\Delta H_{pérdidas}$ aumenta.

Si representamos en una gráfica, la curva consigna y la curva que relaciona presión y caudal, se quedaría de la siguiente manera.



Imagen 3. 15: Curvas de bombeo y consigna de un bombeo en una red.



Aunque en esta gráfica no se han utilizado valores exactos, se asemeja bastante al comportamiento de una bomba. La curva azul indicaría la curva de bombeo, mientras que la roja sería la de consigna. La recta morada representaría el mejor ajuste de un determinado suministro si la presión fuera a nivel constante.

Tomando tres momentos de funcionamiento, podemos observar diferencias en sus características. Cuando hay un caudal bajo (Q_1), por ejemplo en horas nocturnas, vemos que la presión que tiene el fluido es mucho mayor que la de consigna y por tanto estaremos utilizando más energía de la necesaria en bombear agua. En Q_2 , serían momentos donde hay un mayor consumo de agua y por tanto el caudal debe ser mayor, aunque en este caso, sigue habiendo una gran diferencia entre la presión aportada y la necesaria. Desde Q_3 en adelante, la presión está cerca de la necesaria, llegando a casos donde sea insuficiente. El consumo de energía malgastado se suele tomar como la diferencia entre la línea morada y la curva roja.

Estos datos nos dan información para saber cómo se podría reducir el coste energético de bombeo. Si nos fijamos en la Imagen 3.15, lo más conveniente sería bajar la curva roja, dependiendo de la curva consigna. Esto es lo que se llama bombas regulables, que modificando su velocidad de giro imprimen mayor o menor presión dependiendo de las necesidades del momento. Esta tecnología ya está disponible y cada vez más estaciones de bombeo tienen estas máquinas.

Una vez tenemos las bombas hidráulicas que se regulan a tiempo real, debemos estudiar su rendimiento. No es el mismo consumo eléctrico una bomba con 80 % de eficiencia que otra de 60 % para obtener la misma presión.

$$\eta = \frac{\rho * g * H_m * Q}{W_B}$$

La eficiencia depende de la potencia de la bomba y del caudal, entre otros. Esto hace que también sea variable, así todas las bombas tienen un rango de caudal donde son eficientes, por tanto es muy importante saber cuál es el intervalo de caudal necesario en la instalación.

El otro gran gasto de energía se produce por la fricción en las tuberías. Gracias a Darcy y Weisbach, tenemos una ecuación para saber el consumo energético debido al rozamiento con las paredes,



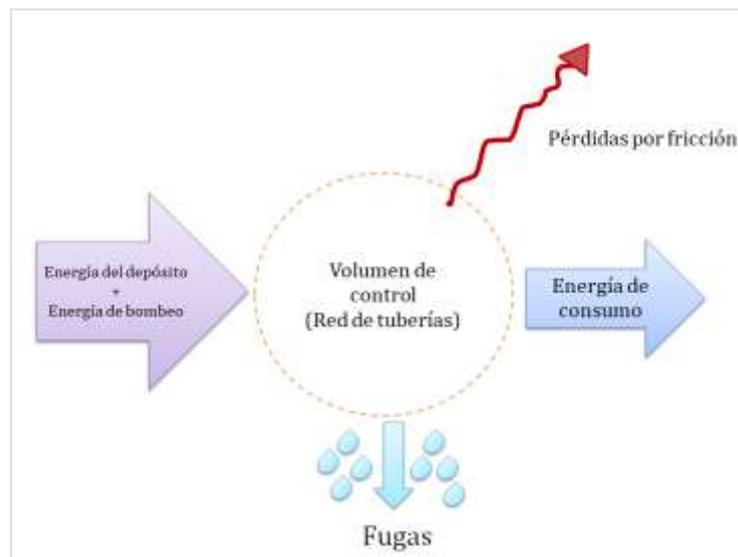
$$h_f = f \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

donde f es una constante denominada factor de fricción, que depende de la rugosidad relativa y el número de Reynolds. Aunque hay otros métodos que dependen del tipo de flujo, esta es la fórmula más sencilla.

En dicha ecuación, se puede comprobar que cuanto más pequeño sea el diámetro, mayor será la pérdida de energía por fricción. Por lo tanto es importante elegir el tamaño adecuado de ancho de tubería. Con todo esto, las pérdidas por fricción suelen ser alrededor de 3 mca/km.

Si cogemos de volumen de control la red de distribución, para obtener la energía que entra y sale del volumen, se quedaría de la siguiente manera:

Imagen 3. 16: Energía que entra y sale de la red de tuberías.



En el sistema, entra la energía que tiene el depósito donde se almacena el agua para ser transportada. Esta energía puede ser de tipo potencial, en caso de que el depósito tenga una determinada altura o incluso cinética, si del depósito sale con una velocidad determinada. También, para su transporte por la red de tuberías, necesitamos de las bombas hidráulicas antes descritas.

En un sistema como este, la energía que entra es igual a la que sale, es decir, el total de energía entre la del depósito y la de bombeo es igual a la suma de la energía perdida por fricción, la energía aprovechada en el consumo y la pérdida por fugas de agua.

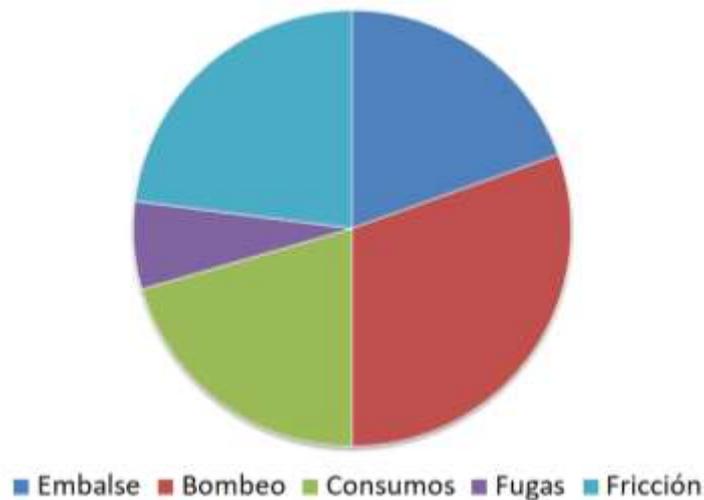
Al final del proceso vemos que está la energía de consumo. No obstante, no toda la energía de consumo se aprovecha. Esto podría subsanarse poniendo turbinas, que son las recuperadoras de energía.

$$W_T = \eta * \rho * g * H_n * Q$$

Por último, estaría bien ver un ejemplo práctico de todo lo estudiado en este apartado. Así, el *informe de Hidroeficiencia fenecorm* nos ofrece unos porcentajes de una red de tubería genérica.



Imagen 3. 17: Balance energético en transporte de agua dulce.



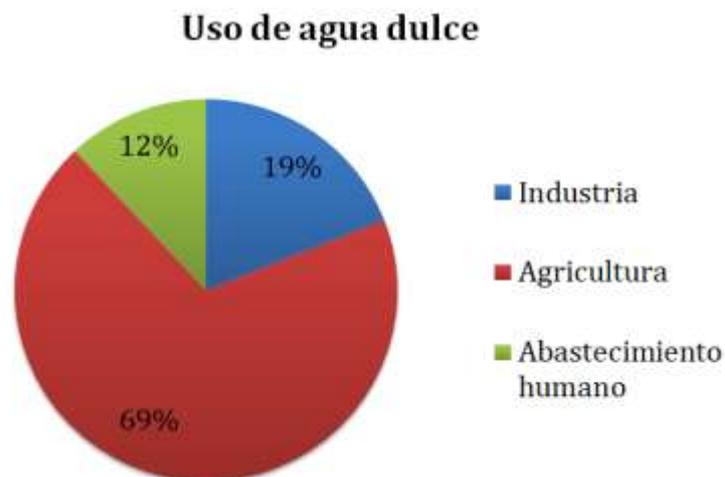
Fuente: Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2012). *Guía sobre Hidroeficiencia Energética*.

3.3. **IMPORTANCIA DEL AGUA EN LA INDUSTRIA**

3.3.1. **Introducción**

Como ya se ha visto en todo este capítulo, uno de los mayores sectores consumidores de agua es la industria.

Imagen 3 18: Uso del agua dulce por sector.



Por tanto, si tomamos el dato de 2.700 millones de km³ usados para consumo humano a nivel mundial, 513 millones estarían destinados para uso industrial.

En las empresas, las actividades con mayor actividad hídrica son:

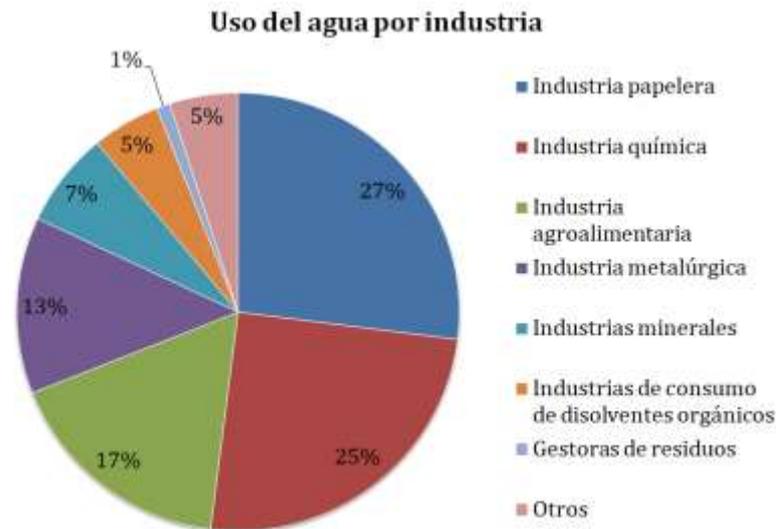
- Sanitarias: cualquier industria con un volumen suficiente de trabajadores, necesita proveer a esas personas de ACS. Estas instalaciones de agua suponen un volumen de



- uso hídrico elevado, siendo una de las principales medidas cuando se trata de ahorrar, dotar a las instalaciones de sistemas como perlizadores.
- Refrigeración: en cualquier central que necesite una refrigeración continua, se suele hacer con agua. Dicho agua, aunque en casos se encuentra en ciclo cerrado, supone un gasto de agua, debido a su cambio químico (aumento de temperatura). Destacan los refrigeradores de las centrales nucleares, cuyo volumen puede suponer hasta un 80 % del agua usada.
- Materia prima: en industrias alimentarias, el agua se utiliza como parte del producto final. Esto ocurre principalmente en empresas como Coca-Cola, cuyos productos son bebidas.
- Fuentes de energía: también podemos ver agua que actúe como fuente de energía, ya sea a través de vapor o líquido, moviendo unas turbinas.

Estos procesos dependen del tipo de empresa del que estemos hablando. Si pudiéramos los valores volumétricos del uso de agua por industria, se parecería a la siguiente ilustración.

Imagen 3 19: Consumo de agua por industria.



Fuente: Fundación Aquae. (2014). *Qué industrias consumen más agua*.

Recuperado de: <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/el-agua-en-espana/que-industrias-consumen-mas-agua/>

Sólo la industria papelera y química ya supone un 50% del agua total utilizada. Le sigue de cerca la industria agroalimentaria, que es un tipo de empresa donde más se ha volcado en el ahorro de agua, desde industrias pequeñas a otras como Estrella de Levante, que fue la primera en Europa en tener Huella Hídrica certificada.

3.3.2. Huella hídrica

Según el ISM (Instituto Superior del Medio Ambiente), se define como huella hídrica a “el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad”.



Este concepto fue acuñado por el profesor Arjen Y. Hoekstra, que declara que este indicar es muy útil debido a que “nos indica la cantidad de agua que producimos, dónde la usamos, y si se usa de una forma sostenible”. Respecto a la importancia de esta idea, Arjen declara que la huella hídrica en cada casa representa alrededor de un 3% del total de la huella hídrica. Por tanto, el otro 96% se trata de lo que compramos, ya sean productos industriales o agrícolas.

El uso de huella hídrica como indicador válido, no sólo hace que las industrias tengan una mejor imagen social, sino que les sirve para elaborar planes de hidroeficiencia, consiguiendo ahorro de agua y energía, y por consiguiente de dinero.

3.3.2.1. Conceptos de la huella hídrica

Para poder calcular la huella hídrica hay que aprender algunos conceptos, estos son:

- Huella hídrica verde: agua de lluvia que es aprovechada o incorporada a un producto. Un ejemplo son los campos de cultivo de café, donde no hace falta un sistema de riego, ya que se aprovecha el agua de lluvia.
- Huella hídrica azul: volumen de agua superficial o subterránea que se incorpora al producto o la actividad y que vuelve al mar en forma de vapor o directamente al mar o alguna cuenca.
- Huella hídrica gris: cantidad de agua necesaria para asimilar o diluir la contaminación de un vertido.

También hay que diferenciar entre la huella hídrica y huella del agua. Mientras que la huella hídrica implica la cantidad de agua consumida por un individuo, sociedad o industria, la huella del agua se encarga de cuantificar los impactos medioambientales, estando regida por la norma ISO 14046:2014.

3.3.2.2. Empresas que han calculado sus huellas hídricas

Cada vez más empresas tienen una conciencia de sostenibilidad hídrica. Entre las empresas nacionales que más se preocupan en la eficiencia hídrica de sus procesos industriales, destaca la murciana Estrella de Levante.

Estrella de Levante fue la primera empresa europea en tener certificación de huella hídrica. Esto se consigue mediante un proceso de estudio y gestión entre diferentes organismos.

Para empezar a conseguir la certificación, Estrella de Levante calculó su huella hídrica a partir de 2014. En palabras de Juan Antonio López Abadía, responsable de medio ambiente de Estrella de Levante, *“en regiones como la nuestra hay una concienciación cada vez mayor sobre la necesidad de mejorar su gestión”,* añadiendo que *“como el agua está presente de una manera constante en la cerveza, y con más o menos intensidad en todo el proceso de fabricación, desde el mismo momento que se empieza a cultivar la cebada, en el año 2014 en Estrella de Levante nos decidimos a dar el paso de calcular nuestra huella hídrica como empresa pionera en el sector de bebidas de la mano del Centro Tecnológico del Agua (CTAQUA). De la misma manera que un año antes habíamos calculado nuestra huella de carbono”*

Para gestionar el agua se pusieron en contacto con la escuela de Agrónomos de la Universidad Politécnica de Cartagena y la facultad de Informática de la Universidad de



Murcia, creando un sistema de gestión y muestro de agua utilizada durante el proceso de cultivo de cebada.

Por último, para verificar su huella hídrica, se comunicaron con la asociación AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), con la que ya habían certificado su huella de carbono.

Aunque Estrella de Levante fue la primera empresa en conseguir su certificación por el cálculo de la huella hídrica, otras empresas le siguieron, agrupándose a través de la plataforma *EsAgua*. Empresas como EMUASA (Agua de Murcia), SAV (S. A. Agricultores de la Vega de Valencia), OHL, Berkeley Minera España S.L. o Gas Natural Fenosa son empresas participantes de *EsAgua*.

La plataforma se propone objetivos diversos centrados en el cálculo del uso del agua (huella hídrica) y los impactos medioambientales de este uso (huella del agua).

3.3.2.3. Empresas con conciencia en el uso del agua

Aunque pocas empresas tengan calculada su huella hídrica y por tanto la utilizan como herramienta para elaborar un plan de hidroeficiencia, sí que hay muchas que tienen una conciencia ambiental, esforzándose en optimizar sus procesos para lograr un ahorro de agua.

Empresas tan grandes como Coca-Cola, Unilever o Nestlé, parte de sus ganancias lo destinan a buscar la eficiencia hídrica en su proceso de producción.

Desde Coca-Cola España nos muestran su reducción en el consumo de agua durante la producción. Según datos de su web oficial, en 2010 se invertían 2,18 L de agua por cada litro fabricado. Este año, se están registrando datos en torno a los 1,91 L. Si siguen así, podrán cumplir su objetivo fijado para el año 2020, de rebajar el agua usada en producción un 20% respecto de la usada en 2010.

Como un litro del agua usada durante la producción, va a la bebida directamente, por tanto este litro es imposible de reducir. Los 0,91 L restantes serán donde se pueda aplicar un plan de eficiencia. Este volumen es usado en operaciones de lavado de envases. Lo que se está utilizando para reducirlo, es cambiar el funcionamiento de algunas máquinas o incluso su maquinaria y la reutilización del agua.

Otra de las empresas que más esfuerzo hace en la optimización del agua es Unilever. En el periodo de 2014 a 2018, la empresa logró reducir en más de un 30% el consumo del agua. Esto se llevó a cabo mediante un sistema de automatismos que permitían ver la energía utilizada en cada parte del ciclo de producción. Cuando un valor se salía de lo estimado, se estudiaba y se ponía remedio. Como se ha explicado anteriormente, agua y energía son conceptos relacionados. Al optimizar el uso energético, se optimiza el gasto hídrico por igual.

Otro frente donde Unilever ha dado un paso al frente es en el control de sus cosechas. En el campo de Extremadura, donde están cultivados los tomates usados en la marca Knorr, Unilever ha conseguido reducir su consumo de agua en un 30%.

Estas dos reducciones a través del consumo de agua se han realizado a través de planes de hidroeficiencia.



3.4. LEYES Y NORMAS RELACIONADAS CON EL AGUA EN LA INDUSTRIA

Para trabajar con el agua, ya sea para hacer un plan de hidroeficiencia, optimizar energía empleada en los tratamientos de agua o en relación a los vertidos, se debe estar en el marco legal estatal y regional. Por ello, la web *iagua* nos muestra la principal legislación a cumplir en cuanto al agua se refiere.

Se tratan de 42 leyes separadas en: ámbito territorial general, dominio público hidráulico, demarcaciones hidrográficas, planificación hidrográfica, calidad de las aguas y otras normas relacionadas.

Para este documento se seleccionará las necesarias de esas 42, añadiéndose las de ámbito regional.

3.4.1. Ámbito territorial general

- RD 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. (BOE núm. 176, de 24/07/2001).

3.4.2. Dominio Público Hidráulico

- RD 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas (BOE núm. 103, de 30/04/1986).
- RD 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas (BOE núm. 209, de 31/08/1988).
- RD 198/2015, de 23 de marzo, por el que se desarrolla el artículo 112 bis del texto refundido de la Ley de Aguas y se regula el canon por utilización de las aguas continentales para la producción de energía eléctrica en las demarcaciones intercomunitarias (BOE núm 72, de 25/03/2015).

3.4.3. Distribución de recursos y su uso

- Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional (BOE núm. 161, de 06/07/2001).

3.4.4. Vertidos de aguas residuales industriales

- Orden MAM/1873/2004, de 2 de junio (BOE núm. 147, de 18 de junio de 2004)

3.4.5. Aguas depuradas

- RD 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas (BOE núm. 294, de 8 de diciembre de 2007).

3.4.6. Normativa de gestión ambiental

- ISO 14001:2004 de gestión ambiental que establece los requerimiento mínimos para establecer un Sistema de Gestión Ambiental.

3.4.7. Región de Murcia

- Ley 1/1995, de 8 de marzo, de Protección del Medio Ambiente de la Región de Murcia (BOE núm. 131, de 2 de junio de 1995).
- Ley 6/2006, de 21 de julio, sobre incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (BORM núm. 183, de 9 de agosto de 2006).



3.5. CONCEPTO DE PLAN DE HIDROEFICIENCIA

3.5.1. Introducción

Un plan de hidroeficiencia industrial es aquel documento que elabora una empresa con el objetivo de buscar la mayor eficiencia posible de agua.

Para ello, cada empresa estudia sus procesos de producción y su uso de agua sanitaria y refrigeración para ajustar el volumen hídrico usado. Aunque el objetivo es la reducción de agua utilizada, no se podrá limitar la calidad del agua por debajo de unos valores y se tendrá que atender a las leyes de vertido al medio ambiente.

Para elaborar correctamente un plan de hidroeficiencia, la Región de Murcia fue la primera que elaboró una ley sobre las medidas de conservación y ahorro del uso del agua.

“Ley 6/2006 sobre incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia”.

Además en la Región tenemos un sistema para presentar dichos planes de ahorro de agua en la industria. Este es el denominado Sistema VIGIA (Sistema de Vigilancia e Información de la Gestión Industrial del Agua).

3.5.2. Medidas obligatorias para la optimización del agua

Según la *Guía sobre medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en edificios industriales y edificios industriales* realizada por la Consejería de Agricultura y Agua, las medidas obligatorias a realizar en una industria para la reducción del volumen hídrico vienen establecida por la Ley 6/2006. En la mayoría de ellas se centran en el agua sanitaria y el consumo de agua en la producción.

3.5.2.1. Sobre agua sanitaria

En la tabla 3.9 se sitúan las medidas obligatorias que toda industria debe cumplir respecto al agua sanitaria. Se clasifican en grifos, duchas, inodoros y carteles de concienciación.

En cuanto a grifos, hay dos tipos de grifos que se pueden instalar (temporizados y monomando), aunque se recomienda instalar los temporizados en zonas muy concurridas. Cualquier otro tipo de grifo, deberá suministrar el mismo volumen que los indicados en la tabla 3.9.

Los caudales de la tabla 3.9, son los exigidos a una presión de 2,5 bar. Esta presión está en el intervalo de eficiencia máxima de los sistemas dispensadores (grifos y duchas).

Además, en cada suministro de agua se pondrá un cartel de concienciación hídrica, donde se centrará en la escasez y la necesidad de hacer un uso sostenible de un recurso tan escaso como es el agua.

Tabla 3.11: Medidas obligatorias para el ahorro de agua sanitaria.

Sistema de ahorro	Descripción	Imagen	Fuente
Grifos Temporizados	Descargarán un litro cada vez		Catálogo Roca Modelo SPRINT Ref. A5A7824C00
Grifos monomando	Verterán 5 l/min a 2,5 bar		Catálogo Roca Modelo ATLAS Ref. A5A3190C00
Duchas	Tendrán un caudal de 8 l/min a 2,5 bar		Página banium.com Grupo Karim due- Galinco
Inodoros	Dispensarán un volumen inferior a 7 L, además deberán tener botón doble o botón de parada		Página banium.com Roca - The Gap
Carteles	En las zonas de consumo de agua se deberán poner carteles de concienciación		Propio

3.5.2.2. Sobre procesos productivos

En cuanto a los sistemas de producción industrial, se prohíben la utilización de circuitos abiertos. Estos circuitos se dan en lavados o refrigeración, cuando el agua utilizada, se desecha. Estos circuitos serán sustituidos por cerrados consiguiendo que el agua utilizada sea reutilizada después de pasar por los tratamientos correspondientes si fuese necesario. El objetivo final de un sistema cerrado es el vertido 0.

El vertido cero se consigue cuando la empresa produce 0 residuos industriales y consume el mínimo agua posible de red, sino que todo el volumen utilizado se recicla y reutiliza en otros procesos.

Buscando la mayor eficiencia hídrica, la empresa deberá realizar un plan de ahorro de agua, en donde año a año se intentará reducir el consumo hídrico. Este plan contará con las soluciones adoptadas en búsqueda del vertido cero. Además, si se trata de una industria con un consumo superior a los 3.500 m³/año deberán presentar los planes de ahorro de agua ante el sistema VIGIA.

El sistema VIGIA se trata de una aplicación informática ofrecida por la *Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca* que tiene dos principales funciones. La primera es certificar su plan de ahorro.



La segunda, y más importante, es que permite a la empresa comparar su consumo de agua virtual con sus consumos anteriores e incluso con los consumos medios de su sector. Estas comparaciones son útiles, para ver la evolución del consumo hídrico.

Las declaraciones de los planes hídricos se deberán presentar cada seis meses, y deberán contener:

- Agua consumida en el proceso de producción
- Agua incorporada al producto
- Pérdida de agua en los procesos de producción
- Vertido hídrico
- Recirculación y reutilización del agua

Los datos de las declaraciones se obtendrán a partir de medidas propias y validadas por las empresas de suministros contratadas. Asimismo, las empresas deberán de conservar en formato papel las declaraciones relativas a los dos años anteriores.

Todas los planes de hidroeficiencia serán controladas por la EPA (ente público del agua).

3.5.3. Optimización del consumo hídrico

Una vez vistas las medidas obligatorias que se deben introducir en la empresa para cumplir la Ley 6/2006, pasamos a describir los sistemas que ayudan a aumentar la optimización del uso del agua.

Aunque la obligación de cada empresa es conseguir la mayor eficiencia posible, no deberá lastrar ni la higiene ni la comodidad necesaria.

3.5.3.1. Grifos monomando

Cuando usamos el grifo monomando, lo hacemos de una manera ineficiente. Normalmente, accionamos el grifo abriéndolo hasta su tope, esto supone un uso de caudal innecesario. Además, al dejarlo en la posición central, ocurre una mezcla de agua caliente y fría, que en principio no es requerida. Para solventar estos dos errores se llevan a cabo varias mejoras:

- *Grifo con doble apertura:* si se abre el grifo, nos encontramos con un primer tramo (hasta el primer tope) que proporciona el flujo de agua necesaria para los usos comunes. Si queremos un mayor caudal habrá que aplicar fuerza para llegar hasta el segundo tope. Con este tipo de grifo se llega a ahorrar un 25- 50 % del agua usada en un grifo monomando simple.
- *Grifo con regulador de caudal:* estos grifos se suelen colocar en industrias en las que hay zonas con mucha diferencia de presión respecto a otras. En estos casos mediante un sistema interno se controla el caudal que suministra el grifo, denominados estabilizadores de presión. En puntos donde la presión es muy alta, el caudal será superior a lo requerido. Por tanto, un grifo a una presión de 4 bar sin el estabilizador consume un 30 % más de agua. También, se suele añadir un aireador su boca, para conseguir caudales inferiores a 5 l/min.



- *Grifo con apertura en frío:* estos tipos de grifos, en su punto intermedio, suministran agua fría. Para conseguir agua caliente se deberá llevar la maneta al punto de agua caliente.

3.5.3.2. Grifos temporizados

Estos grifos se ponen en zonas de mucho tránsito, en los que se puedan quedar grifos abiertos por algún despiste. Cada descarga debe suponer como máximo 1 litro, como se indicó 3.5.2 *Medidas obligatorias para la optimización del agua.*

Además, si utilizamos boquillas con el efecto Venturi, se llegará a reducir el consumo hasta los 0,7 litros por pulsación.

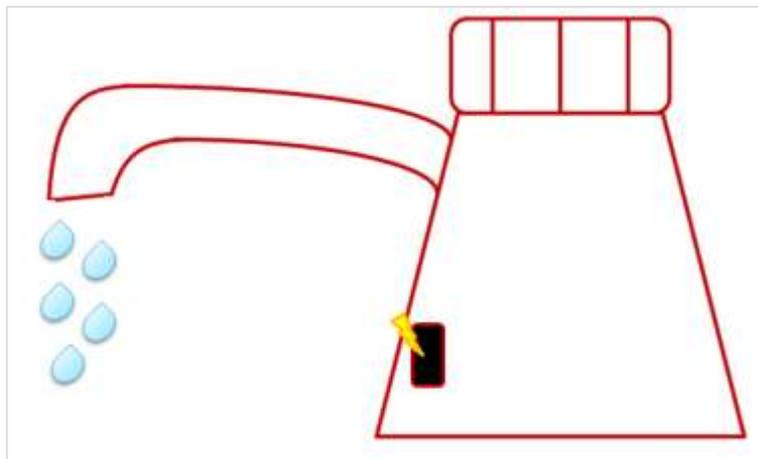
El denominado efecto Venturi se encarga de mezclar agua y aire, dando lugar a una mezcla de caudal que supone un ahorro hídrico. Otro método para mezclar agua y aire es mediante la utilización de perlizadores.

Otro concepto que hay que tener en cuenta a la hora de usar este tipo de grifos es que no se puede seleccionar agua caliente o fría sino que ya viene instalada. Por tanto, para zonas en donde no se requiera agua caliente, se recomienda instalar sólo agua fría, que resulta más económico y más eficiente.

3.5.3.3. Grifos con sensor eléctrico

Estos tipos de grifos tienen un sensor en la parte de baja del grifo y cuando se acercan las manos, el grifo suministra el caudal.

Imagen 3 20: Sensor de grifo automático.



El caudal suministrado será de 5 l/min a una presión de 2,5 bar. Se tratan de los grifos más higiénicos, y mediante un sistema electrónico, si está abierto durante mucho tiempo, lo interpreta como un defecto y se apaga automáticamente. Esto es muy importante por si el sensor está roto que no haya un consumo excesivo.

3.5.3.4. Boquillas para grifos

A través de aireadores y perlizadores, en la boca del grifo se consigue el efecto Venturi antes descrito. En grifos temporizados puede reducir en 0,3 litros el consumo de agua por



pulsación y en el resto de grifos se consigue los 5 l/min a 2,5 bar, que son las medidas más eficientes de presión y caudal.

3.5.3.5. Duchas

Las duchas en la industria siguen las mismas normas que viviendas de nueva construcción según la Ley 6/2006 del 21 de junio.

El consumo de agua en las duchas supone un gasto volumétrico grande, ya que en algunos casos llega a suponer un 45% del agua total usada. La ley estipula que el caudal de un grifo de ducha no debe pasar los 8 l/min a una presión de 2,5 bar. Para ello, la Consejería de Agricultura y Agua nos da consejo para llegar a lograrlo.

“Los reductores de caudal para duchas pueden venir instalados de fábrica en el interior del grifo o alcachofa, o se pueden instalar posteriormente entre grifo y la manguera de ducha, o en el interior de las alcachofas o cabezales de ducha, basan su funcionamiento en el teorema de Bernoulli”. Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia (2014). Este efecto hace que al aumentar la velocidad del agua, dé más sensación de caudal, aunque realmente éste sea inferior.

3.5.3.6. Inodoros

Como queda escrito en la Ley 6/2006, el volumen máximo que dispensarán los inodoros será de 7 litros, teniendo sistemas de cierre mediante pulsación o doble botón para elegir el consumo adecuado.

En los sistemas de cierre mediante pulsación, se deberá explicar su correcto uso a los trabajadores, ya que aunque son más eficientes que los de doble botón con un uso óptimo, si no se conoce que se debe pulsar para cortar el suministro de agua se transforma en una medida de ineficiencia.

Los de doble pulsación son los más comunes. Suelen tener una carga intermedia de 3 litros y una total de 7. Estos valores pueden variar dependiendo del fabricante y de las necesidades, aunque nunca deben superar los 7 litros de máximo establecidos.

Ambas soluciones deben de estar revisadas por técnicos y con un mantenimiento regular, para evitar posibles fallos del sistema y fugas. En el caso de que un inodoro presentara fugas, se podría llegar a perder 150 litros al día de agua.

Existen otras dos soluciones que se suelen adoptar para ahorrar agua en los inodoros. La primera es el uso de fluxores. Con estos aparatos se suministra agua de forma temporizada, perfecto para lugares de tránsito. La segunda opción son los urinarios sin agua. Esta clase de baños se instalan en los servicios de caballero, y aunque necesitan un servicio de limpieza más meticuloso, suele ser una mejora importante en el ahorro de consumo hídrico.

Al igual que cualquier proceso industrial, la reutilización de agua también es común en sanitarios. Esta reutilización sirve tanto para bajar el consumo de agua como para reducir la producción de agua residual, llegando a disminuir hasta un 30%.



3.5.4. Plan de hidroeficiencia industrial

Debido a la ley 6/2006, cada industria debe realizar un plan de hidroeficiencia en donde se refiera el consumo de agua en los procesos sanitarios, productivos, en limpiezas de instalaciones y baldeo, lavado de vehículos y riego.

Además, se deberá señalar el volumen de agua utilizada dependiendo de su origen. El abastecimiento de agua se puede realizar a través de red, pozo, agua recirculada, agua reutilizada o aportada por materia prima.

Toda el agua utilizada por la empresa será medida por contadores electrónicos o analizadores de consumo. Gracias a estas medidas podremos hallar el agua virtual (consumo de agua por producto) y el agua de consumo humano por trabajador y hora de trabajo.

Un concepto necesario para realizar un plan de hidroeficiencia es el de “huella hídrica”, desarrollado en el apartado 3.3.2. *Huella hídrica*. Este concepto no se centra solamente en el consumo de agua sino también aborda la génesis y la contaminación del agua producida por el proceso de producción (huella hídrica verde, azul o gris).

Dentro del sistema de producción se deberá analizar el agua incorporada al producto, el agua perdida mediante fugas o evaporaciones, la vertida a los diferentes sistemas públicos y la reutilizada.

3.5.4.1. Procesos para buscar la eficiencia hídrica

La consejería de Agricultura y Agua nos da información de los principales sectores en un proceso industrial donde podemos centrarnos para ahorrar agua.

En el proceso de producción, realizar un estudio en intercambiadores de calor, ayuda a ajustar el agua consumida y no dispensar más caudal del necesario. Además, tanto para condensadores como calefactores, es indispensable un sistema cerrado de reutilización, ya que su contaminación es mínima.

Otra medida a adoptar el proceso de producción es una actualización de los equipos mecánicos. Con el paso de los años, las máquinas son cada vez más eficientes, tanto energética, como hídricamente, por ello, está la posibilidad de que un cambio de maquinaria cada periodo de tiempo suponga una gran rentabilidad económica a largo plazo. Esta actualización, debe ir acompañada con un correcto sistema de mantenimiento, donde se limpien e inspeccionen los equipos con el fin de evitar pérdidas o fugas.

También es importante para los trabajadores saber los problemas de un elevado consumo de agua, por ello será necesaria la distribución de carteles de concienciación en los puntos de mayor afluencia.

En los sistemas de lavado será importante la reutilización y recirculación de agua, cambiando el lavado mediante duchas por inmersión en cubetas. Debido a la recirculación las inspecciones deberán de ser más exhaustivas, ya que el agua reutilizada deberá ser adecuada y limpiada dependiendo del uso posterior.

Otro de los procesos que gastan mayor agua es el baldeo. Un correcto plan de limpieza reducirá notoriamente el consumo hídrico. Para los suelos con residuos sólidos, se recomienda utilizar cepillos. Otra recomendación es el uso de pistolas a presión, ya sean de



aire o de agua reutilizada. Para la limpieza de maquinaria, también habrá que tomar medidas especiales dependiendo del tipo de maquinaria.

3.5.5. Realización del plan

Un correcto uso del agua no sólo implica una reducción en el volumen de agua usado y una reducción en el impacto sobre el medioambiente, sino que también se consigue un ahorro en el coste. Cada metro cúbico perdido puede llegar a suponer 2000 €/año. Esta cifra, en empresas con altos consumos hídricos, aumentaría de manera proporcional al agua usada. Empresas como Estrella Levante, donde en su producción es esencial el uso de agua, se ven obligados a realizar un plan de ahorro hídrico.

Según datos de la Comisión Europea, un correcto plan de hidroeficiencia industrial, puede llegar a suponer un ahorro del 40% del agua usada, y por consiguiente, del coste de producción en euros.

Para llevar a cabo un plan de hidroeficiencia se necesita el apoyo administrativo y financiero de los altos cargos de la empresa. Para conseguir dicho apoyo, se les presentará un informe en el que detallen el ahorro de agua y la reducción del gasto (€) por consumo de agua. Debido al incremento en el coste del suministro de agua, los jefes de las empresas están cada vez más interesados en realizar estos planes de ahorro de agua.

A la reducción del coste monetario que se ahorraría con un correcto plan de optimización hídrica, hay que añadir la repercusión medioambiental que supone tener industrias con una conciencia ambiental. Este hecho, haría verter agua menos contaminada y explotar menos los recursos naturales en busca de un suministro hídrico.

Además, si cada vez utilizamos menos agua, podríamos revertir la situación actual, en las que numerosas normas restringen el consumo de agua, incluso podríamos reducir de nuevo el precio del agua.

Por todo esto, el sistema de gestión del agua en una empresa se debe encargar de:

- Conservar el agua como materia prima.
- Reciclar agua a través de procesos de acondicionamiento.
- Proteger el medio ambiente al que se vierten sus residuos.
- Optimizar el uso del agua en cada parte del proceso de producción.
- Relacionar el agua usada con el consumo eléctrico.
- Organizar un sistema de mantenimiento para localizar fugas, desbordes y maquinaria defectuosa.
- Localizar los puntos de ahorro hídrico y estudiar su rentabilidad.

Se abordarán los objetivos por tres vertientes diferentes:



Tabla 3.13: Gestión del uso de agua.

Vertiente	Descripción
Gestión del abastecimiento de agua	Es la parte encargada de garantizar el volumen y la calidad del agua necesaria y cómo tratarla para alcanzar dicha calidad. Además se tendrán en cuenta los costes por ello.
Gestión del agua en el proceso productivo	Es la parte encargada de la búsqueda de eficiencia en el uso de agua durante el proceso de producción.
Gestión de la depuración del agua	Parte encargada de garantizar que los vertidos industriales cumplan la legislación pertinente.

Fuente: Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2012). *Guía sobre Hidroeficiencia Energética*.

Los pasos que hay que seguir para realizar un correcto plan de hidroeficiencia son los siguientes:

- 1) Fijar unos objetivos a alcanzar.
- 2) Seleccionar los recursos que van a ser utilizados para el plan.
- 3) Realizar una auditoría hídrica.
- 4) Señalar los puntos en los que se puede realizar una mejora del sistema.
- 5) Planificar la mejora del sistema.
- 6) Observación y medida de los resultados.



4. MATERIALES Y MÉTODOS



4. **MATERIALES Y MÉTODOS**

4.1. ***DOCUMENTACIÓN***

4.1.1. ***Guía de Hidroeficiencia: Conceptos y Definiciones básicas***

Para empezar a usar una guía de hidroeficiencia para desarrollar un correcto plan de optimización hídrica hay que tener una serie de conceptos y definiciones en mente.

- a) **Uso eficiente del agua y la hidroeficiencia Industrial:** El uso eficiente del agua o hidroeficiencia es un indicador de la relación entre la cantidad de agua necesaria para un fin o proceso determinado y la cantidad de agua utilizada realmente. La hidroeficiencia Industrial, por tanto, es el uso eficiente del agua en las operaciones de producción dentro de cualquier tipo de industria.
- b) **Productividad del agua:** Cantidad de agua utilizada para generar una cantidad concreta de producto.
- c) **Huella hídrica:** es un indicador que relacionara las necesidades de agua con el consumo total de bienes y servicios. La huella hídrica de una industria vendría definida por el volumen de agua necesaria para la generación de los productos y servicios consumidos por dicha industria. La huella hídrica puede ser azul, verde o gris.
- d) **Reciclaje y reutilización del agua:** El reciclaje y reutilización del agua se utilizan a menudo como dos términos intercambiables.
Se puede definir el “reciclaje del agua” como la reutilización del agua de un proceso, para la misma finalidad y en el mismo sitio, y “la reutilización del agua” como la reutilización de agua en otro lugar, normalmente para otro propósito. En el caso del reciclaje, se distingue entre el reciclado de aguas residuales (por tratamiento para su reutilización) y el reciclado de agua evaporada (por condensación de vapor de agua para su reutilización).
- e) **Vertido 0:** industria que es capaz de reutilizar o reciclar todos los efluentes originados por el proceso industrial y por tanto no producirá residuos.

Objetivos de hidroeficiencia en una industria:

- Disminución del consumo de agua de red, de pérdidas y de los efluentes. Además, que las fuentes de energía utilizadas consuman menos agua.
- Que para la fabricación de los productos industriales se consuman menos agua, y que, una vez fabricados, necesiten menos agua para su consumición o utilización.

Una de las principales formas de ahorrar agua en la industria es mediante la reutilización del agua de proceso. Antes de reutilizarla deberá ser tratada mediante procesos de depuración para que cumpla con el RD 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Esta ley nos proporciona datos sobre los valores máximos que puede tener el agua (sólidos en suspensión, turbidez, *Escherichia coli*, nematodos intestinales...) dependiendo del uso del agua reutilizada. Para cumplir dicha ley, se han intentado diferentes técnicas dependiendo de los materiales utilizados en el proceso de producción contaminantes del agua.

Dependiendo del destino del agua a tratar, los tratamientos recomendados son 5:

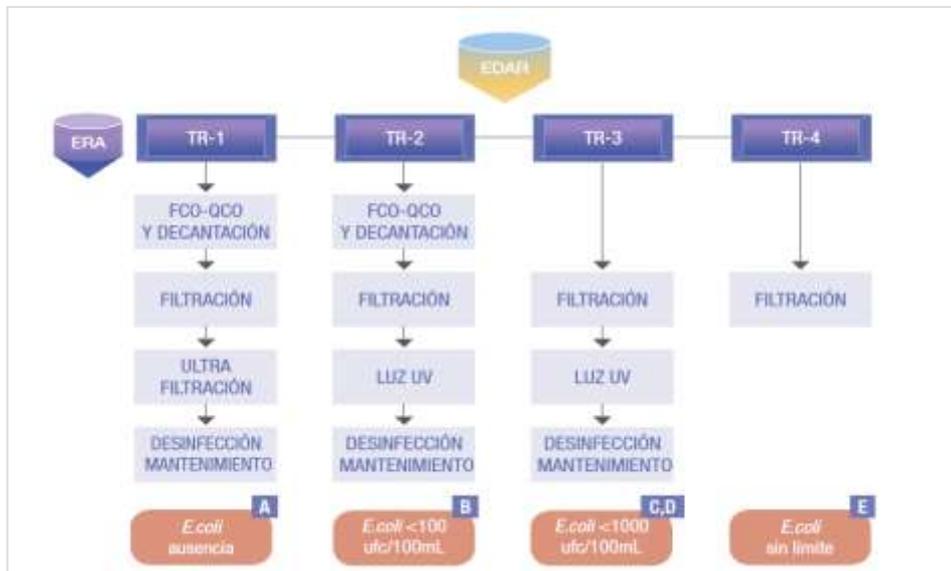
Tabla 4.1: Tratamientos de agua residuales según la Guía de RD 1620/2007.

Tratamiento	Objetivo	Uso
Tipo A	Eliminación total de Escherichia coli	Torres de refrigeración y condensadores
Tipo B	≤ 100 UFC/100 mL de Escherichia coli	Usos industriales y aguas de limpieza en industrias alimentarias
Tipo C	≤ 1000 UFC/100 mL de Escherichia coli	Aguas de proceso y limpieza, excepto fábricas de alimentos
Tipo D	Eliminar sales en los efluentes	Torres de refrigeración y condensadores
Tipo E	Eliminar sales en los efluentes	Torres de refrigeración y condensadores

Fuente: Agua, Energía y Medioambiente Servicios Integrales S.L.U. (AEMA). *Reutilización de aguas industriales: Tecnologías adecuadas para su regeneración.*

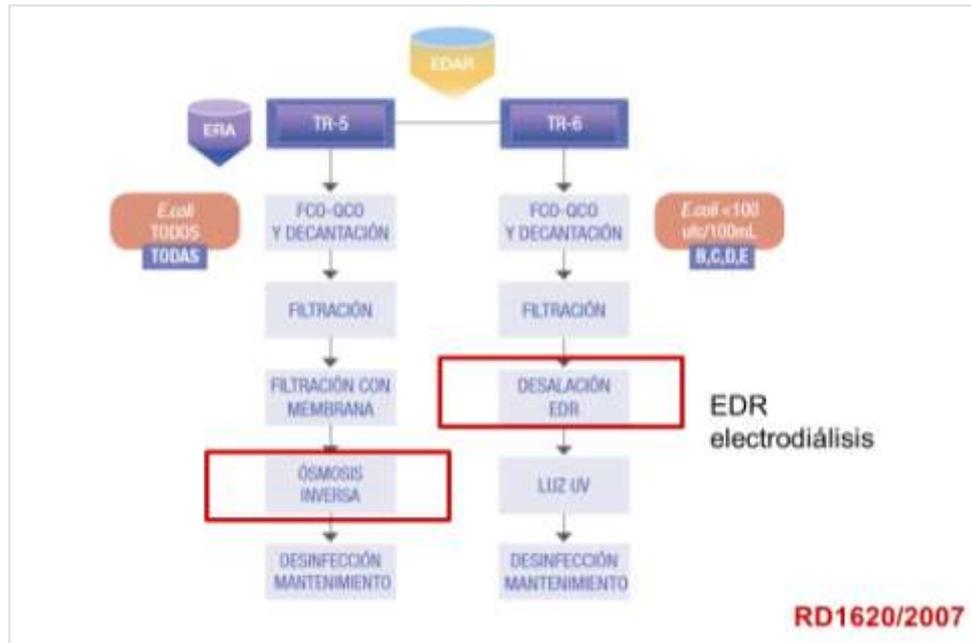
Recuperado de: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/reutilizacion-de-aguas-industriales-tecnologias-adecuadas-para-su-regeneracion>

Imagen 4. 1: Tratamientos de regeneración propuestos sin desalación para usos que requieren una determinada calidad microbiológica.



Fuente: Esquemas de la Guía de RD 1620/2007.

Imagen 4. 2: Tratamientos de regeneración propuestos con desalación.



Fuente: Esquemas de la Guía de RD 1620/2007.

Los planes de hidroeficiencia que implican reutilización de aguas depuradas o mejoras en la calidad de los vertidos suponen un ahorro económico para la industria al disminuir su canon de saneamiento. El Canon de Saneamiento, es un impuesto propio de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, creado y regulado por la Ley 3/2000, de 12 de Julio, destinado a cubrir los gastos de operación y mantenimiento de las instalaciones públicas de saneamiento y depuración. Es un tributo de carácter ambiental y finalista, que debe garantizar la correcta explotación y conservación de las instalaciones públicas de depuración de aguas residuales y su recaudación solamente puede ser dedicada a ello. Su carácter es conforme a los principios europeos de "recuperación de costes" y de "quien contamina paga" pues su cuantía es proporcional al consumo y, en el caso de aguas industriales, también a la contaminación aportada.

Para conocer el canon de saneamiento a aplicar a una industria se tiene en cuenta 2 parámetros, el volumen medio de agua residual vertida en m³/año y el coeficiente corrector que depende del nivel de contaminación del vertido y se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Coeficiente_Corrector_} C_c = \left[1 \cdot \frac{(1)}{300} + 2 \cdot \frac{(2)}{333} + 1,3 \cdot \frac{(3)}{50} + 2,6 \cdot \frac{(4)}{14} + 3 \cdot \frac{(5)}{2000} \right] \times \frac{1}{9,9} =$$

Los números que están entre paréntesis y aparecen del 1 al 5 se refieren a la cantidad de DQO, nitrógeno, sólidos en suspensión, fósforo y sales solubles, todos ellos medidos en mg/l a excepción de las sales solubles, que se mide en MicroSiemens/cm.

La calculadora disponible en la entidad ESAMUR da como respuesta el valor del importe anual del Canon de Saneamiento introduciendo datos supuestos para el volumen anual consumido, la naturaleza doméstica o no doméstica del consumo, y el valor estimado de los coeficientes correctores para la carga contaminante (Cc) y para el volumen realmente vertido (Cv), con valores comprendidos entre 0.5 y 8 y entre 0.1 y 1, respectivamente.



EJEMPLO: cálculo del canon de vertido de una industria que consume 10.000 m³ de agua anuales y genera un volumen de vertido 0,8 con un canon de 4.

La calculadora da como respuesta el valor del importe anual del Canon de Saneamiento introduciendo datos supuestos para el volumen anual consumido, la naturaleza domestica o no domestica del consumo y el valor estimado de los coeficientes correctores para la carga contaminante [Cc] y para el volumen realmente vertido (Cv), con valores comprendidos entre 0,5 y 8 y entre 0,1 y 1, respectivamente, salvo casos excepcionales en los que en virtud de un expediente aprobado al efecto por el Consejo de Gobierno se establezca un coeficiente corrector superior o inferior.

TIPO DE USUARIO

Doméstico No Doméstico

10000

0,8

4

CALCULAR

Importe a pagar en concepto de
Canon de Saneamiento

No Doméstico

Tipo de usuario: No Doméstico

Coefficiente volumen: 0,8

Coefficiente Corrector: 4

Volumen Anual Vertido: 8.000,00 m³/a

Mensual: 1.131,20 €

Bimestral: 2.262,40 €

Trimestral: 3.393,60 €

Anual: 13.574,40 €

Aplicando un plan de hidroeficiencia que implica una mejor depuración del efluente pasando el coeficiente corrector a 2 y una reutilización del agua industrial o reducción del volumen de agua vertida del 0,8 al 0,5.

Importe a pagar en concepto de
Canon de Saneamiento

No Doméstico

Tipo de usuario: No Doméstico

Coefficiente volumen: 0,8

Coefficiente Corrector: 2

Volumen Anual Vertido: 8.000,00 m³/a

Mensual: 565,60 €

Bimestral: 1.131,20 €

Trimestral: 1.696,80 €

Anual: 6.787,20 €

Importe a pagar en concepto de
Canon de Saneamiento

No Doméstico

Tipo de usuario: No Doméstico

Coefficiente volumen: 0,5

Coefficiente Corrector: 2

Volumen Anual Vertido: 5.000,00 m³/a

Mensual: 353,50 €

Bimestral: 707,00 €

Trimestral: 1.060,50 €

Anual: 4.242,00 €



4.1.2. Tratamientos avanzados de agua residual industrial

La realización de operaciones de limpieza y desinfección o tecnologías de higienización, en superficies industriales, supone un impacto medioambiental en cuanto a agua, energía, productos químicos, aguas residuales..., especialmente en sectores como el alimentario y el cosmético, que requieren de unos parámetros de higiene muy exigentes para el desarrollo de su actividad.

Incluye tecnologías ecoeficientes y tratamientos avanzados. El diseño de los equipos y las instalaciones y la aplicación de nuevas tecnologías ecoeficientes, como las basadas en hielo líquido y agua ozonizada, pueden ser una alternativa para las empresas de alimentación y cosmética con grandes ventajas de reducción de costes y de impacto medioambiental.

Según informa iAgua en industrias alimentarias y cosméticas, el uso de tecnologías eco-eficientes puede suponer ahorros del 44 %. Estos datos se recogen en el proyecto EcoHigiena, a cargo de AINIA para la Comunidad Valenciana.

4.1.2.1. Tecnologías eco-eficientes

Pueden implicar un ahorro del 44% agua. Este ahorro se consigue mediante dos procesos:

- a) Tecnologías avanzadas de higienización (TAH): para mejorar el proceso de higienización se utiliza hielo líquido que ayuda a retirar el producto que se incrusta en las tuberías, lo que lleva a un descenso en la eficiencia de producción. En estos casos se obtiene un ahorro en las limpiezas iniciales del 33 % en la Industria de la alimentación y un 77 % en la cosmética. Otro método es mediante agua ozonizada, consiguiendo un 44 % de ahorro en empresas cosméticas y un 42 % en agroalimentarias.
- b) Mediante la actualización de instalaciones y maquinaria eco-higiénica. Con un cambio de equipos se consigue un ahorro del 32 % en instalaciones cerradas (bombas, válvulas...) y un 12 % en instalaciones abiertas.

Nuevos proyectos se están llevando a cabo para seguir optimizando el uso del agua. Uno de esos proyectos, es el desarrollado en ECO₃WASH, que es un trabajo, también puesto en marcha por AINIA, junto a Ingeniería de Verificaciones Electromecánicas y Mantenimientos (IVEM) e Instalaciones Industriales GRAU y con ANECOOP, que permite regenerar y reutilizar el agua residual del lavado de cítricos.

El lavado de productos cítricos es uno de los procesos que requiere un mayor volumen de agua en la cadena de producción, pudiendo llegar hasta los 1000 litros a la hora. Al final del proceso de producción nos encontramos con aguas contaminadas provenientes del lavado y que además tienen compuestos encargados de evitar el deterioro y la putrefacción de los productos.

Lo que se ha propuesto mediante el sistema ECO₃WASH es regenerar los 1000 litros de agua por hora que se consumen, es decir, se busca el *Vertido 0*. El agua que procede de los procesos de limpieza se filtra para rebajar el contenido en partículas en suspensión y posteriormente se pasa por un proceso de oxidación mediante ozono y radiación UV (elimina contaminantes y microorganismos).

Imagen 4.3: Modelo lineal de lavado.

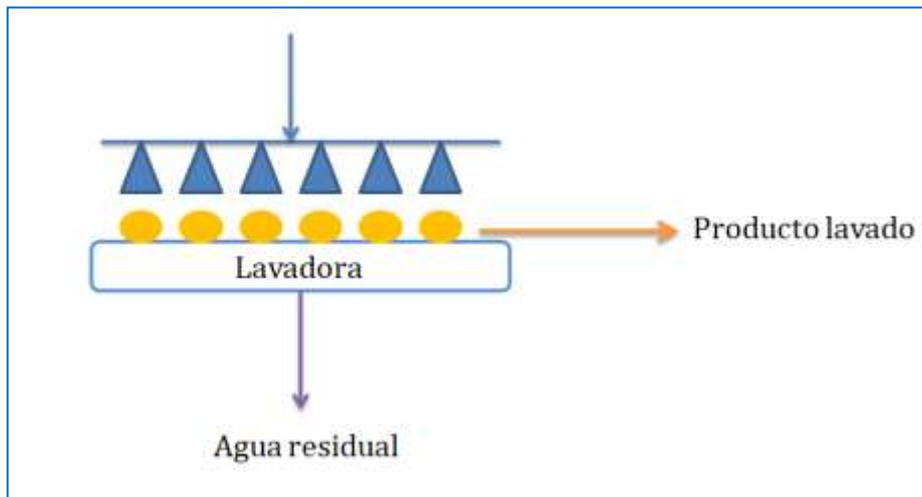
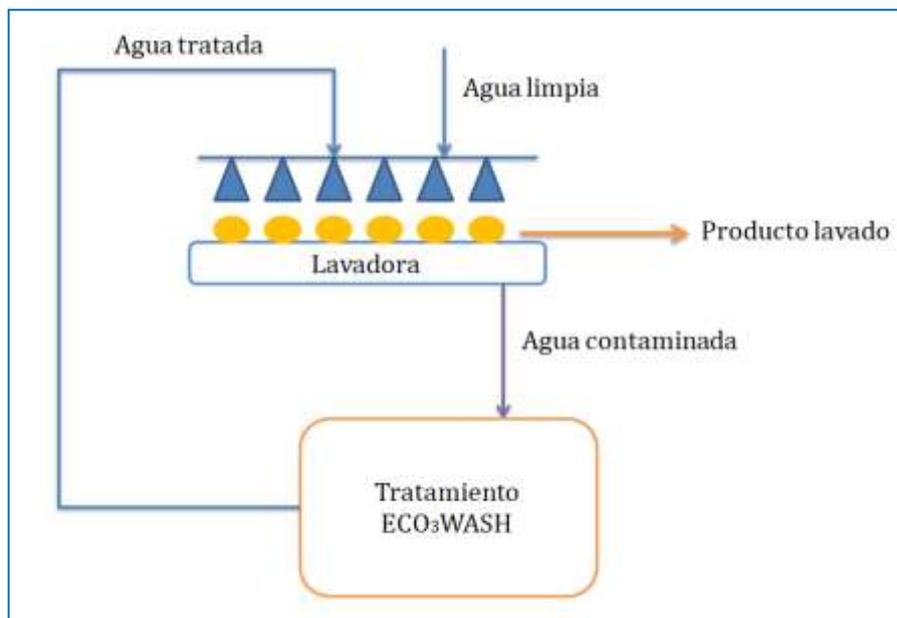


Imagen 4.4: Modelo circular de lavado.



Fuente: Agroinformación. *ECO3WASH*, la planta que permite regenerar y reutilizar el agua residual del lavado de los cítricos.

Recuperado de: <https://agroinformacion.com/eco3wash-la-planta-permite-regenerar-reutilizar-agua-residual-del-lavado-los-citricos/>

4.1.2.2. Tratamientos avanzados

Se utilizan para eliminar compuestos orgánicos y otros que no se pueden eliminar por tratamientos convencionales. Se dividen en dos grupos.

- a. **Métodos no destructivos**
 - i. Adsorción (carbón activo y otros adsorbentes)
 - ii. Desorción (Stripping)
 - iii. Tecnología de membranas (Ultrafiltración, nanofiltración)

La aplicación de una técnica no destructiva se entiende como una etapa previa de concentración del contaminante antes de abordar su posterior destrucción química. Permite su recuperación.

a.1. TECNOLOGÍAS DE MEMBRANA (Método no destructivo)

Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases. Se usan para la separación de contaminantes que se encuentran disueltos o dispersos en forma coloidal y eliminar contaminantes que se encuentran a baja concentración. Son tratamientos típicos del tratamiento terciario del agua residual para obtener agua regenerada. Se usan con fines de desinfección, ablandamiento y desalación del agua residual.

Imagen 4. 5: Tratamientos terciarios de membranas.



Fuente: Elvira Rendueles, M.B. (2018). *Técnicas Reunidas: instalaciones auxiliares (Instalaciones de tratamiento de aguas residuales industriales)*.

Imagen 4. 6: Tecnologías de membrana.



Fuente: Elvira Rendueles, M.B. (2018). *Técnicas Reunidas: instalaciones auxiliares (Instalaciones de tratamiento de aguas residuales industriales)*.

Según el tipo de membrana, las aplicaciones más habituales a nivel industrial son:

Tratamiento	Aplicaciones
Microfiltración	Pretratamiento de aguas potables
	Aclarado de zumos de frutas, vinos y cerveza
	Separación de bacterias del agua (tratamiento biológico de aguas residuales)
	Separación de emulsiones de agua y aceite
	Pretratamiento del agua para nano filtración y ósmosis inversa
	Separación sólido-líquido para industria farmacéutica e ind. Alimentarias
Ultrafiltración	Eliminación de virus en aguas residuales
	La industria de productos lácteos
	La industria alimentaria
	Separación de emulsiones de agua y aceite
	La industria textil
	Pretratamiento del agua antes de la nanofiltración o la ósmosis inversa
	Separación de aceites
Recuperación de colorantes y aprestos (industria textil)	
Nanofiltración	Recuperación de cáusticos y ácidos
	Eliminación de pesticidas
	Eliminación de metales pesados
	Reciclado de agua en lavanderías
	Ablandamiento del agua
Ósmosis inversa	Desalación de aguas salobres y agua de mar
	Producción de agua pura
	Concentración de solventes moleculares para industria alimentaria
	Recuperación colorantes industria textil
	Recuperar metales en la industria de electrodeposición
Electrodialisis	Desalinizar aguas salobres
	Aguas de aclarado de industria de electrodeposición de metales



b. **Métodos destructivos**

Se produce la destrucción química del contaminante, no permite recuperación, ideal para compuestos muy tóxicos.

- i. Oxidación química avanzada
- ii. Oxidación húmeda catalítica y no catalítica
- iii. Oxidación húmeda supercrítica
- iv. Incineración
- v. Procesos avanzados de oxidación

b.1. “PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN” (AOP)

Son diferentes metodologías basadas en la elevada capacidad **oxidante** de los **radicales hidroxilo HO[•]** y que se diferencian entre sí en la forma en la que los generan. La mayoría de los **AOP** hacen uso de combinaciones de oxidantes (O₃/H₂O₂), de un oxidante y un catalizador (Fe²⁺/H₂O₂), un oxidante y radiación (uv/ H₂O₂) o bien de radiación y catalizador (uv/TiO₂). Los procesos de oxidación avanzada están considerados como la “**mejor técnica disponible**” para la depuración compuestos recalcitrantes, tóxicos, y contaminantes solubles no biodegradables.



Se trata de procesos que utilizan **reactivos costosos** tales como el agua oxigenada o el ozono, por lo que su utilización *debe restringirse situaciones en las que otros procesos más baratos, no sean posibles*. Incluye los siguientes procesos:

Oxidación húmeda: Proceso que se realiza en fase líquida y que trata de convertir los compuestos orgánicos del agua en sustancias más simples, para finalmente oxidarlos hasta convertirlos en CO₂ y H₂O, evitando la emisión de NO_x, SO₂ y HCl, eliminando la toxicidad del agua. Es un proceso que resulta rápido, limpio y eficiente, más aun usando catalizadores.



Fuente: Universidad Complutense de Madrid. (2019). *Tratamiento de aguas residuales mediante oxidación húmeda*.

Oxidación en agua supercrítica (OASC): Cuando se trata agua a una temperatura por encima de 374°C y una presión mayor a 221 bar, se dice que se está tratando agua supercrítica. Si el agua residual está en este estado, tenemos la posibilidad de añadir un agente oxidante, produciendo una reacción química donde los compuestos orgánicos son oxidados al 100 %, obteniendo compuestos inorgánicos.

Fuente: AINIA (2016). *Oxidación en agua supercrítica, aplicaciones para tratamientos de depuración de aguas residuales*.

Ozonización avanzada: el ozono se descompone en agua en radicales, generándose hidroxilo entre otros. Los componentes orgánicos se descomponen a partir del radical hidroxilo y del ozono disuelto.

Fenton o Peróxido de hidrógeno y catalizador H_2O_2/Fe^{2+} : Una sal de hierro, $FeSO_4$, interacciona con el peróxido, para obtener Fe^{2+} , que actúa como un catalizador.

Oxidación avanzada con microondas: otro método de oxidación que se intensifica a partir del uso de microondas, pudiendo reutilizar el catalizador. Además, su aporte de energía favorece las reacciones con los compuestos químicos (descomposición).

Fotocatalisis heterogénea: A través de la excitación por parte de luz, se provocan huecos en la banda de valencia, debido a la excitación de electrones, lo que oxida los compuestos orgánicos y además hace que las moléculas de aguas pasen a ser radicales hidroxilo.

Foto-fenton: es un tratamiento basado en la producción hidroxilo mediante el reactivo Fenton (peróxido e ión de hierro (II)). La velocidad de descomposición de los compuestos orgánicos es mayor cuanto más sea la radiación por luz ultravioleta (longitudes mayores a 300 nm).

En los procesos de oxidación avanzada fotocatalíticos, la radiación ultravioleta-visible 300nm juega un papel primordial en la velocidad de formación de los radicales libres hidroxilos $OH\cdot$. Se requiere menos reactivo catalizador pero hay que tener en cuenta el coste de generar UV. **Ejemplo: Ozonización avanzada, ozono-ultravioleta: O_3/UV , H_2O_2/UV y $O_3/H_2O_2/UV$.** La radiación ultravioleta se utiliza para degradar la materia orgánica presente en el agua, pero para ello, dicha sustancia debe poder absorber la radiación. En muchos casos, esta absorbencia es muy limitada, por ello se le aplica el ozono (incluso se puede mezclar peróxido de hidrógeno). Mediante una serie de reacciones, el conjunto de ozono y luz UV degrada rápidamente la materia orgánica.

Este proceso tiene ventajas y desventajas:

- **Ventajas:**
 - Oxidación puede llegar a ser muy rápida.
 - Reducción en el coste de los reactivos, comparados con otros métodos.
- **Desventajas:**
 - Coste de producción de radiación Ultravioleta alto.
 - La eficacia de la radiación es reducida
 - Se necesita un estudio previo para saber si los compuestos orgánicos absorberán la radiación.



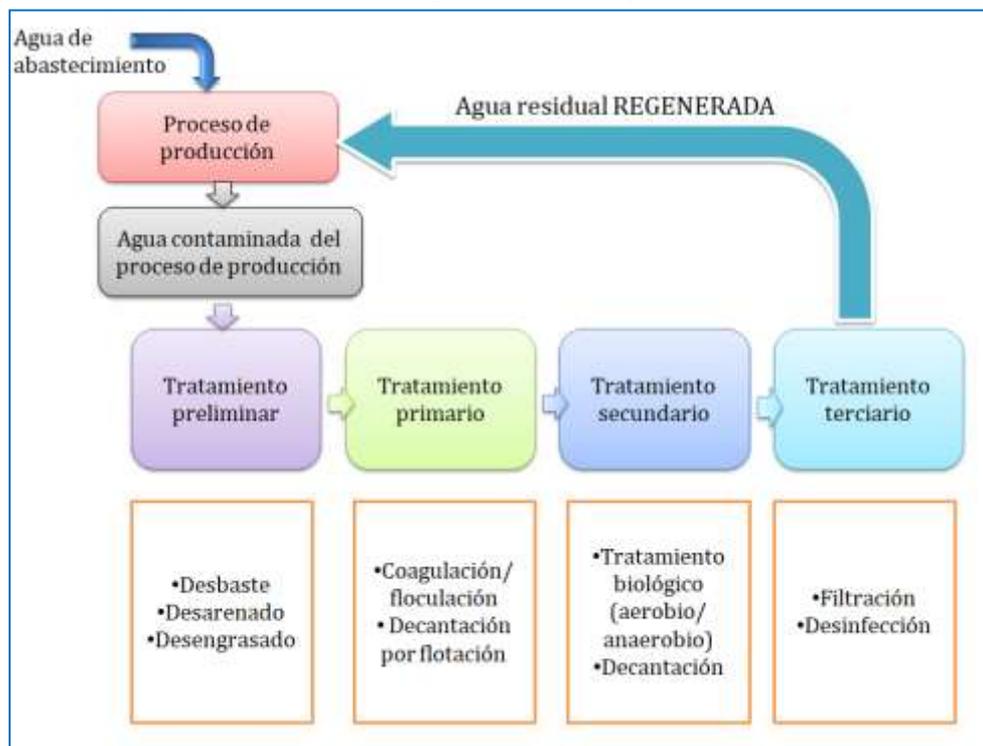
Fuente: Rodríguez Fernández-Alba, A., Letón García, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., Sanz García, J.M. *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. España.

4.1.3. Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales para su reúso en el proceso productivo de una industria de jabones AZULK S.A.

Uno de los ejemplos donde se puede ver claramente el ahorro hídrico mediante la reutilización de las aguas residuales es en la industria de jabones, optimizando el proceso de depuración para hacer viable su posterior reutilización. El agua residual industrial generada en las diferentes zonas de producción de la empresa de jabones AZULK S.A., representa un volumen diario aproximadamente de 45 m³, significando un 36% del consumo general de la industria, el cual es un porcentaje considerablemente importante y representativo para ser reusado en las diferentes etapas del proceso productivo. Esta regeneración se realiza a partir del agua tratada, ya que una vez acabado el proceso de producción el agua está contaminada. La presencia de grasas y aceites es uno de los principales problemas para reutilizar el agua. Unido a esta característica, nos podemos encontrar con pH muy bajo, lo que indicaría una sustancia muy ácida. Otras características físicas serían la turbidez del agua, así como su color y olor. Por último la presencia de nitrógeno y fósforo hace que se deteriore la masa hídrica receptora por procesos de eutrofización.

Además de todas estas impurezas, hay que añadir la presencia de materia sólida, que puede ser sustancias decantables, materias en suspensión y residuos. Estos residuos sólidos se pueden dividir en dos, dependiendo de si pueden atravesar un papel de filtro (sólidos disueltos) o no (sólidos suspendidos).

Imagen 4. 7: Proceso de tratamiento del agua residual en planta de jabones.



Fuente: Elvira Rendueles, M.B. (2018). *Técnicas Reunidas: instalaciones auxiliares (Instalaciones de tratamiento de aguas residuales industriales)*.



Se identificaron las fuentes de vertidos generados en el proceso productivo y en las diferentes áreas de AZUL K S.A. mediante un balance hídrico; luego, se tomó una muestra en cada punto de vertimiento en el proceso productivo para conocer las características con que llegaba el agua residual industrial a la EDARI, y los puntos donde se presentaba una mayor contaminación. Así mismo se procedió a realizar el diagnóstico técnico y operativo de la EDARI haciendo un seguimiento al sistema de tratamiento, por medio de caracterizaciones y un balance de cargas, con lo que se determinó, el funcionamiento y el cumplimiento frente a los parámetros de diseño. De acuerdo al diagnóstico y al comportamiento del afluente, se plantearon diferentes alternativas de optimización, enfocadas a la planta de producción de AZUL K S.A., a las operaciones unitarias de la EDARI y por último a la implementación de nuevos procesos de tratamiento, de los cuales se seleccionó uno, teniendo en cuenta ensayos de tratabilidad desarrollados a nivel laboratorio y criterios como espacio, costos, flexibilidad del sistema, generación de subproductos entre otros, los cuales ayudaron a la selección de la alternativa (DAF) más tratamiento biológico, la cual resultó ser la más adecuada para obtener un efluente de mejor calidad y de esta forma poder reusarlo en las diferentes etapas del proceso productivo de la empresa de jabones AZUL K S.A. Para llevar a cabo el estudio económico se utilizó el método relación beneficio/costo (B/C), el cual se halló mediante la relación de VPN ingresos/VPN costos, analizando la conveniencia de la inversión.

4.1.4. Reutilización del agua en la industria alimentaria

En la industria alimentaria, el uso de agua es obligatorio. Algunos de los volúmenes de aguas gastados por industria son los siguientes:

- Industria láctea: 1 - 11 m³/t de leche recibida.
- Industria cervecera: 2,5 - 7,2 hl/hl de cerveza producida.
- Conservadora de verduras: 4 - 60 m³/t producto.
- Matadero: 1 - 6,4 m³/t de canal.

Aunque el agua reutilizada no puede ser incluida en el producto, si es posible utilizarla en otros procesos contingentes al proceso de producción, como son:

- a) Para riego de zonas verdes y limpieza de calles.
- b) Para riego de campos y cultivos.
- c) Para limpieza de maquinaria y sistemas de calefacción, humectación y refrigeración.
- d) Para humedecer y recargar las zonas con sequía del medioambiente.

Dependiendo del tipo de uso, las propiedades del agua y por tanto el tratamiento que se le debe dar es diferente, como se vio en el apartado 4.1.2. Todo esto para cumplir con el RD 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

4.1.5. Legislación aplicable

- I. **Ley 6/2006, de 21 de julio, sobre incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.**

Esta Ley tiene por objeto establecer el incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua mediante su incorporación a las ordenanzas municipales, sin menoscabo de otras que, de forma voluntaria, cada Entidad Local pudiera establecer.



II. **Ley 3/2000, de 12 de julio, de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia del Canon de Saneamiento.**

La presente Ley tiene por objeto la fijación de las competencias de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y las Entidades locales de esta Región, en materia de saneamiento y depuración de aguas residuales urbanas, garantizando su actuación coordinada mediante la planificación y creación de la Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales, así como la implantación de un Canon Saneamiento para la financiación del funcionamiento y, en su caso, ejecución de las infraestructuras de esta naturaleza.

III. **Ley 3/2002, de 20 de mayo, de Tarifa del Canon de Saneamiento.**

La Ley 3/2000, de 12 de julio, de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia e Implantación del Canon de Saneamiento, establece el canon de saneamiento con naturaleza de ingreso de derecho público de la Hacienda Pública Regional cuya recaudación se destinará exclusivamente a la realización de los fines recogidos en ella.

IV. **Real Decreto 16/1999, de 22 de abril, de vertidos de aguas residuales en el alcantarillado, del CARM.**

Este Derecho tiene por objeto la regulación de los vertidos de aguas residuales industriales al alcantarillado, en desarrollo del artículo 55.3 y disposiciones adicionales primera y cuarta de la Ley 1/1995, de 8 de marzo, de Protección del Medio Ambiente de la Región de Murcia.

4.2. **MÉTODOS**

Teniendo en cuenta las guías de hidroeficiencia Fenercom, Mapfre y que el sistema VIGIA del Ente Público de Agua (EPA) de la CARM se diseña un modelo propio y básico de plan de hidroeficiencia industrial que, posteriormente, se adecuará al tipo de actividad industrial y a sus objetivos, hidroeficientes, energéticos y medioambientales concretos.

Metodología de Implantación de un plan de hidroeficiencia: Conjunto de pasos a realizar por el responsable de gestión ambiental de la empresa para realizar dicho plan.

Se plantea el siguiente procedimiento. Consta de:

- a) **Auditoría interna hídrica:** Se realiza un análisis inicial de situación de consumos hídricos, pérdidas y consumos energéticos en el ciclo productivo. Si no existen, se pondrán contadores para su evaluación. Dicha auditoría incluirá los siguientes puntos:
 - Requisitos normativos.
 - Análisis de consumos.
 - Identificación de ineficiencias.
 - Análisis del coste real del agua en punto de uso.
 - Análisis de riesgos asociados al agua.
 - Oportunidades de mejor mediante un plan de acción.
 - Identificación de oportunidades de reutilización y empleo pluvial.
- b) **Establecimiento de puntos críticos hídricos:** Se identificará aquellos puntos cuya gestión hídrica es mejorable y posteriormente se seleccionarán las potenciales técnicas para su optimización.
- c) Para llevar a cabo el plan de hidroeficiencia es necesario **implantar tecnologías** que permitan su ejecución. Podemos diferenciar aquellas que se pueden aplicar en cualquier



industria con la única finalidad de conseguir un ahorro de agua o bien implantar tecnologías que modifican el proceso industrial haciéndolo más hidroeficientes.

c.1) **Operaciones preliminares dirigidas al ahorro de agua sin modificar el proceso productivo aplicable a cualquier tipo de industria.** Se asume un 10 % de ahorro.

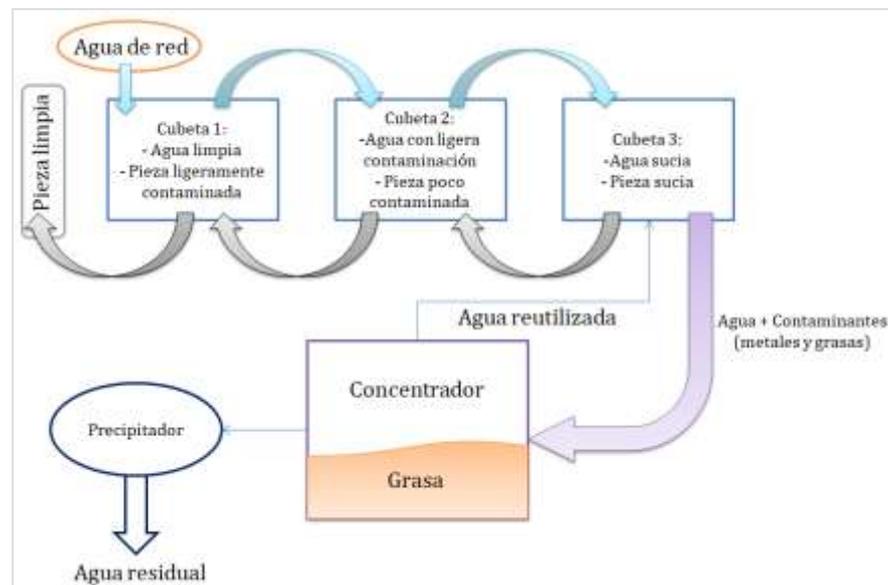
- Instalación de contadores.
- Separación de aguas pluviales de residuales.
- Reutilización de agua residual.
- Utilizar materias primas que requieren menos agua.
- Recuperación materias primas de lodos de depuración.

c.2) **Tecnologías que implican modificación del proceso productivo y son específicas de una actividad industrial.**

- *Aguas de limpieza y desengrasado en el tratamiento de superficies y piezas mecánicas:*

Implica instalar equipos de **enjuagues en cascada** en actividades como la galvanización o talleres de reparación de vehículos. Son procesos que consumen cantidades ingentes de agua que son desechadas y por su alto contenido en sustancias tóxicas y contaminantes implican procesos costosos de depuración previos a su vertido. Pueden suponer hasta un ahorro del 95 % del agua usada para tal fin.

Imagen 4. 8: Sistema en cascada.

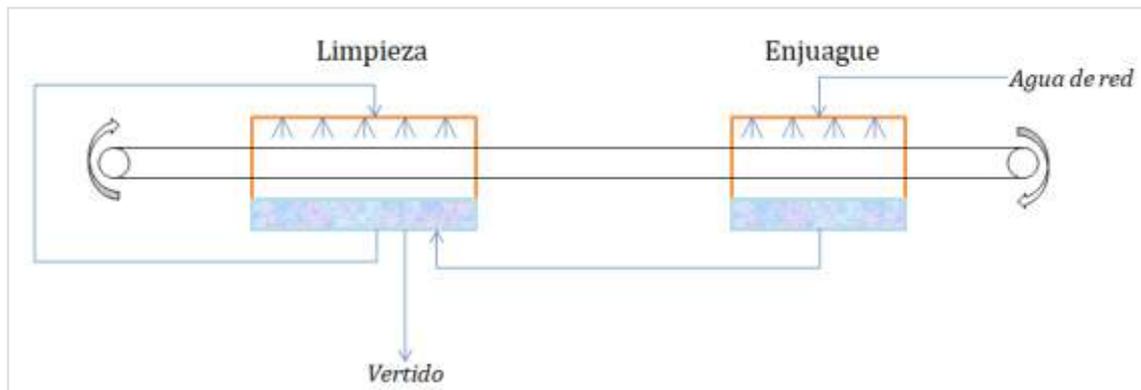


- *Vertidos hipersalinos y salmueras:*

Son los vertidos procedentes de la empresa agroalimentaria (curado de jamones, alpechines, congelados de pescado) y de la industria química.

Un sistema muy utilizado en las empresas de jamones es la reutilización del agua en procesos de limpieza. La etapa de lavado cuenta con dos procesos, la limpieza y el enjuague. En ambos, al lavar jamones, el agua empleada adquiere una salinidad. Sin embargo, el agua del enjuagado se utiliza en la limpieza.

Imagen 4.9: Lavado de jamón.

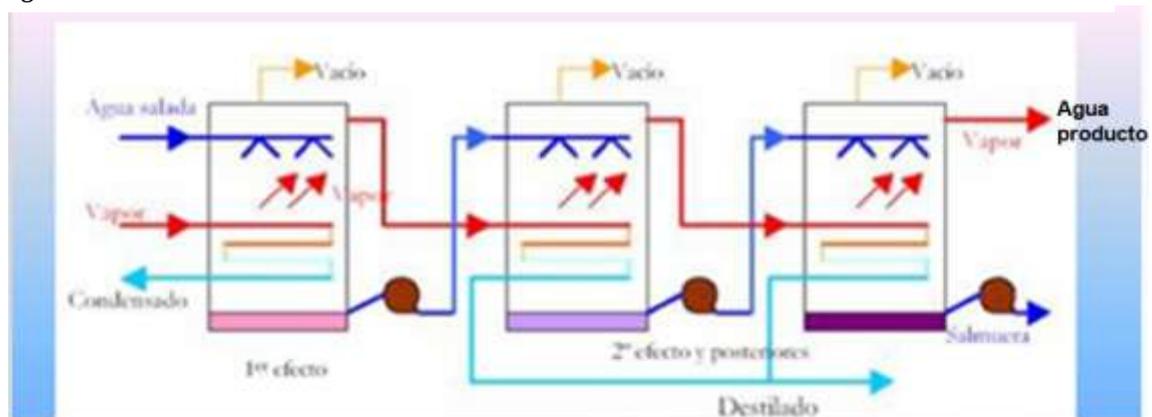


Fuente: AINIA. (2001). *Aplicaciones del manual media a sectores industriales (Sector Cárnico)*.

En otros sistemas, el agua hipersalina del proceso debe ser tratada obligatoriamente para poder usarse en otros procedimientos. Es aquí cuando entran los procesos de desalinización.

El primero de ellos es la **destilación multiefecto med:**

Imagen 4.10: Destilación multiefecto MED.



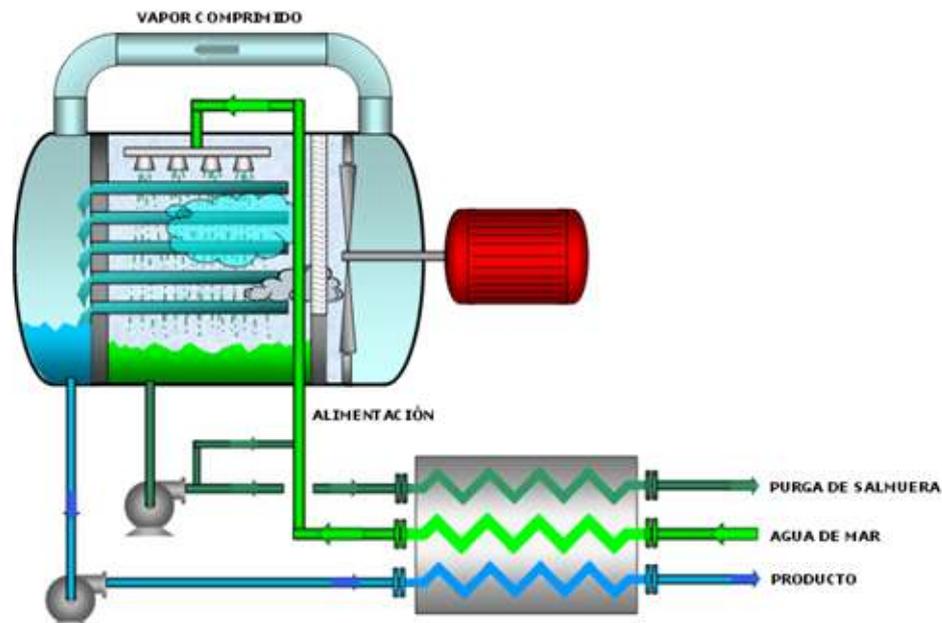
Fuente: *Material de Máster 2018*, Elvira Rendueles, M.B.

Este es un proceso multietapa donde la salmuera se va extrayendo de la fase anterior para concentrarla más aún. En la primera fase entra agua salada en forma de gotas al tocar los tubos con vapor caliente, en un recinto a baja presión, el agua salada se hace vapor, dejando salmuera en el fondo del recinto. El vapor entrante de los tubos se condensa a modo de destilado, y el vapor del agua salada se utiliza en el siguiente recinto como aporte energético. La salmuera que se ha condensado es bombeada al siguiente recinto para seguir concentrándola.

Este es un tipo de instalación muy eficiente ya que se autoabastecen sus etapas, sin embargo, la instalación es costosa. La recuperación final de agua es de 30 – 40%.

Parecida a esta instalación, tenemos la **destilación por compresión mecánica de vapor:**

Imagen 4.11: Destilación por compresión mecánica de vapor.



Fuente: *Material de Máster 2018*, Elvira Rendueles, M.B.

Este tipo de sistema es muy efectivo en medianas empresas, donde poniendo uno de estos se puede llegar a una gran optimización hídrica. La Imagen 4.11 está referida a sistemas que tienen como agua de alimentación, la procedente del mar. Sin embargo, también puede funcionar en empresas cuya agua residual sea agua hipersalina.

- *Aguas de refrigeración:*

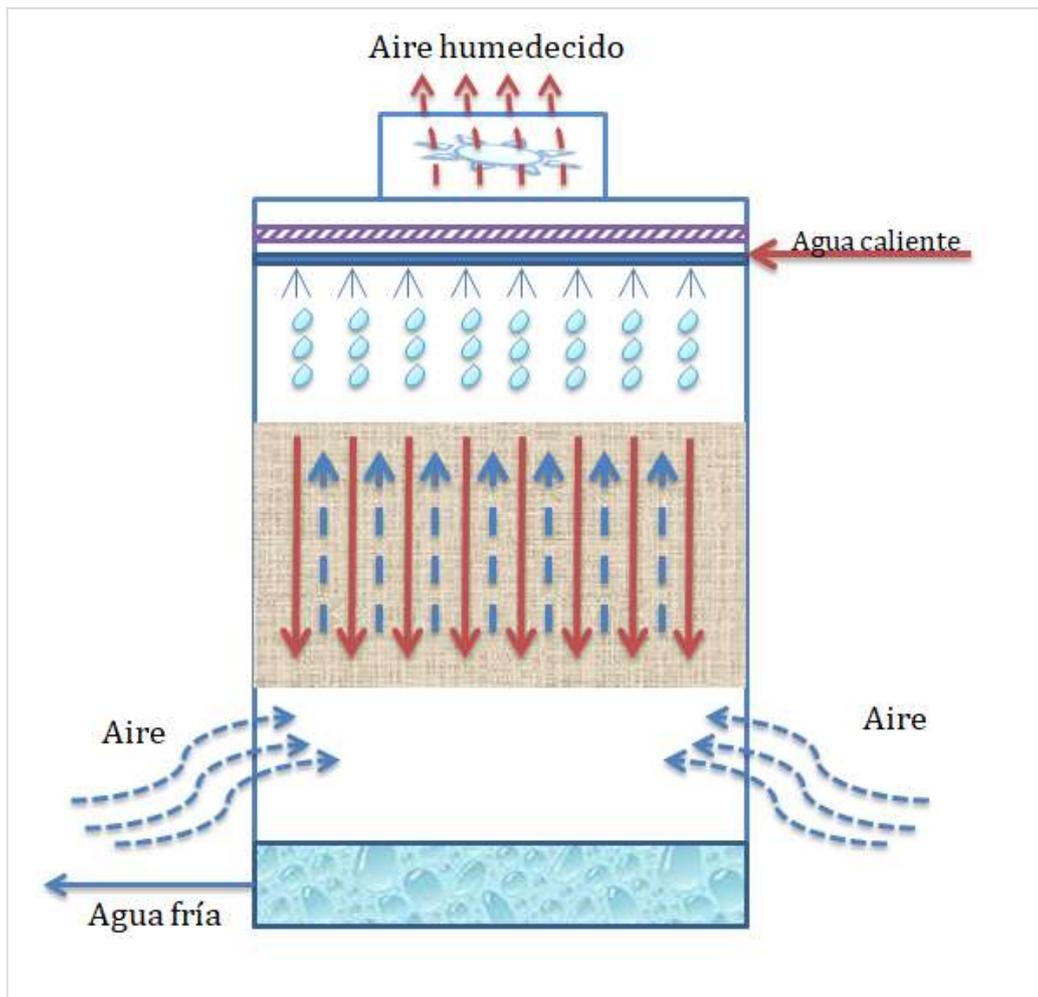
En los edificios públicos como son los ayuntamientos, hospitales, bancos... y empresas privadas, uno de los principales sectores donde se consume agua es en la climatización y refrigeración. El volumen hídrico usado en la refrigeración de un edificio puede llegar al 30% del agua total usada.

Uno de los sistemas que más se utiliza actualmente, es la **refrigeración evaporativa** a partir de las torres de refrigeración. Es un proceso respetuoso con el medio ambiente, que llega a reutilizar el 95% del agua consumida.

Este sistema se encarga de enfriar el agua caliente, a partir del proceso de refrigeración evaporativa. En lo alto de la torre se inyecta agua caliente que es pulverizada a través de un relleno. En la base de la torre se inyecta aire que se hace pasar por el mismo relleno. Esta mezcla de flujos hace que el agua reduzca su temperatura y el aire se humedezca. El agua cae a un tanque donde es recirculada.

El agua humedecida se carga de algunas gotas de agua, y esto es un problema ya que puede que dicho agua esté contaminada por la *Legionella* y salga al exterior. Para evitar esto, antes de que salga al exterior se pasa por un separador de gotas, que extrae las partículas líquidas de agua, y las reconduce a la base de la torre, donde se encuentra el tanque de agua. Esta pérdida de agua, que sale al exterior junto al aire es de 0.002% en equipos de alta eficiencia. Esto queda reflejado en la UNE 100030/2017.

Imagen 4.12: Torre de refrigeración.



Una de las industrias que más usan las torres de refrigeración es en los centros de procesamientos de datos.

Estos centros se encargan de procesar cualquier tipo información que esté relacionada con una organización determinada.

Debido a la cantidad de componentes electrónicos, el sobrecalentamiento es algo a tener en cuenta. Además, un calentamiento de los equipo lleva una reducción en la eficiencia del proceso de organización de datos. Por ello, es muy importante los sistemas de refrigeración.

- d) **Se determinarán las prioridades ambientales** (Huella hídrica, canon vertido, reutilización de efluentes) del plan de hidroeficiencia definiendo los recursos económicos necesarios para su cumplimiento.

En un proyecto ambiental para la toma de decisiones entre varias alternativas se aplica el método relación beneficio/costo (B/C), el cual se haya mediante la relación de VPN ingresos/VPN costos, analizando la conveniencia de la inversión.

Relación beneficio costo (B/C): Es la relación entre el valor presente de todos los ingresos del proyecto sobre el valor presente de todos los egresos del proyecto, para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se sacrifica en el proyecto.



$B/C = \text{valor presente de ingresos} / \text{valor presente de egresos}$

El criterio de evaluación B/C, Infante (1988), lo define: este índice de utilización frecuente en estudios de grandes proyectos públicos de inversión, se apoya en el método del valor presente neto. Se calcula de la siguiente manera:

- a) Valor presente de los ingresos asociados con el proyecto en cuestión.
- b) Valor presente en los egresos del proyecto.
- c) Se establece una relación entre el VPN de los ingresos y el VPN de los egresos.

- Interpretación:

$B/C > 1$: los beneficios son superiores a los sacrificios. El proyecto es viable porque genera aportes económicos y sociales a la comunidad independientemente de que el VPN sea negativo o igual a cero porque el impacto de la inversión es social y no toma en cuenta la rentabilidad.

$B/C = 1$: los beneficios son iguales a los costos. Es indiferente realizar o no la inversión desde el punto de vista financiero. El proyecto es auto sostenible, concepto que se aplica a los proyectos sociales para que su desarrollo sea ideal.

e) **Elaboración del plan de hidroeficiencia** con objetivos concretos para un periodo de 6 meses que será revisable y formará parte del plan general medioambiental de la empresa.

Los objetivos concretos del plan de hidroeficiencia fijarán qué concepto de agua se pretende reducir, así como el tanto por ciento de disminución de consumo para cada objetivo a un horizonte de 6 meses.

f) **El plan se adecuará a los requisitos del plan VIGIA de la CARM.** Definiciones de los conceptos a declarar en el sistema VIGIA:

- I. Volumen de producción (Tm.) Comprende el total del producto final resultante de la actividad industrial, el cálculo se podrá realizar sobre el producto neto o sobre el producto y el envase.
- II. Agua directamente consumida en el proceso (Tm.) WDC. Es la suma de todos los recursos hídricos utilizados en el proceso de producción. Comprende el agua consumida en los siguientes procesos: transporte, lavado, refrigeración, limpieza, fabriles y auxiliares.
- III. Agua perdida durante el proceso productivo (Tm.) WL. Comprende todo el agua perdida en los siguientes procesos: transporte, lavado, refrigeración, limpieza, fabriles y auxiliares. El agua perdida durante el proceso productivo WL es la diferencia entre el agua directamente consumida WDC menos el agua residual generada en el proceso de producción Ww menos el agua incorporada al producto WP más el agua almacenada en la empresa WA. $WL = WDC - WP + WA$.
- IV. Agua residual generada en el proceso de producción (Tm.) WW. Comprende toda el agua residual generada por la industria en todas sus actividades, destinada al vertido o reutilización fuera del proceso industrial de la empresa.



- V. Agua incorporada al producto (Tm.) WP. Comprende el volumen de agua que se añade a la materia prima y que termina formando parte del producto tras el proceso industrial.
 - VI. Agua recirculada procedente de pérdidas del proceso (Tm.) W*L. Comprende todos los volúmenes de agua que después de haber sido utilizados en un proceso industrial de la empresa, se vuelven a utilizar en otro proceso industrial diferenciado sin ningún tipo de tratamiento o depuración.
 - VII. Agua residual reutilizada en el proceso de producción (Tm.) W*W. Comprende todos los volúmenes de agua que después de haber sido utilizados en un proceso industrial de la empresa, se vuelven a utilizar en otro proceso industrial diferenciado después de haber sufrido un tratamiento previo o depuración.
 - VIII. Agua almacenada en la empresa (Tm.) WA. Comprende todo el volumen de agua que permanece almacenado en la industria y que no sale de la misma como: agua incorporada al producto WP, agua residual generada en el proceso de producción WW o agua perdida durante el proceso productivo WL.
- g) **Se informará y formará a todos los responsables y trabajadores** de la empresa antes de su implantación.
 - h) Tras la aprobación por la dirección de la empresa, se procede a su *implantación, con los controles y registros documentales* necesarios para poder realizar su *seguimiento*.
 - i) Pasados los 6 meses de su implantación se procederá a la *evaluación de los resultados* obtenidos desde un punto de vista ambiental y económico.



5. RESULTADOS



5. **RESULTADOS**

Siguiendo la metodología de implantación de un plan de hidroeficiencia (descrita en el apartado "4.2. MÉTODOS") una vez realizada la auditoría interna hídrica y establecidos los puntos críticos del proceso donde se está desperdiciando agua, se pasa a implantar las operaciones de ahorro hídrico que se expondrán a través de 4 ejemplos prácticos.

Para conseguir el objetivo de reducir el consumo de agua se pueden usar dos alternativas: modificando el proceso productivo o no modificarlo.

Los tres tipos de industria que vamos a ver son: agroalimentaria, metalúrgica y un edificio público, concretamente, una clínica sanitaria.

Tendremos en cuenta que para estas industrias, el agua residual será vertida en el alcantarillado municipal, por tanto una de los principales de ahorro es la reducción en el coste del canon de saneamiento. A la misma vez, se trata de una mejora ambiental.

Los requisitos que deben cumplir los vertidos estarán regulados por la autoridad local, es decir, el ayuntamiento de cada localidad.

5.1. ***IMPLANTAR TECNOLOGÍAS DE AHORRO***

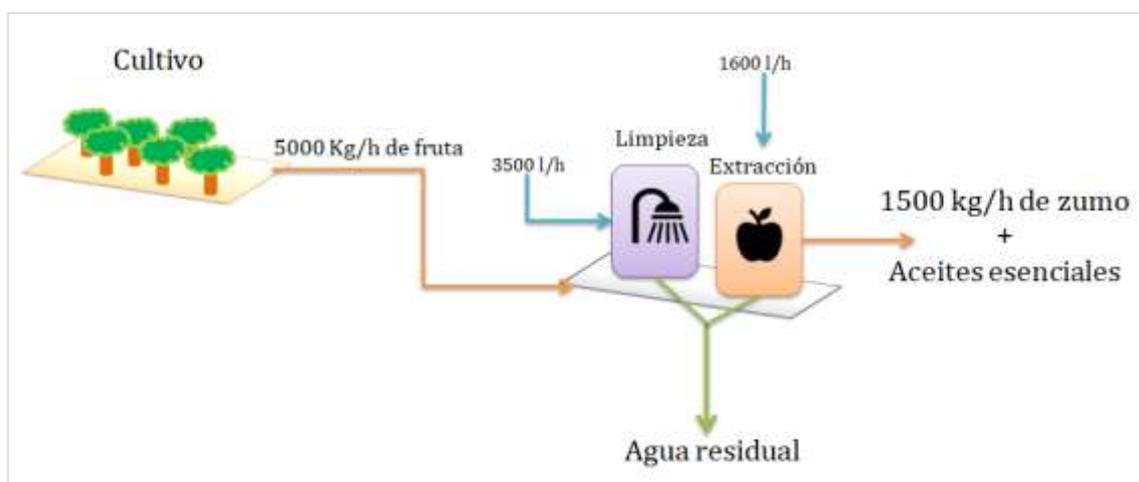
5.1.1. ***Sin modificar el proceso productivo***

5.1.1.1. ***Industria de zumos***

La industria de zumos es una de las que más agua consume y por tanto, tienen una huella hídrica muy elevada. Sus necesidades de agua principales son en el riego, en la limpieza y en los extractores. Para una industria mediana que produce unos 1500 kg de zumo a la hora, se necesitarán 5000 kg/h de fruta. Los extractores son los que extraen la pulpa y el líquido de la fruta. En este proceso se requiere agua para lubricar el proceso de extracción y para obtener aceites esenciales del producto. Esta industria supuesta tendrá 2 extractores que trabajarán 2500 kg/h de fruta. A cada extractor, además, se le deberá suministrar 800 kg/h de agua. En limpieza de la fruta será necesario usar 3500 l/h.

Por tanto, el esquema de la industria de zumos quedaría así:

Imagen 5.1: Esquema industria de zumos.





- a) La instalación de **contadores** supondría un ahorro de agua, ya que nos facilitan ver el desperdicio del agua en caso de rotura. Como hay 3 zonas donde se utiliza agua (cultivo, limpieza y extracción), deberíamos poner 4 contadores, uno por zona, excepto en la extracción, donde pondríamos uno por extractor.

Tabla 5.1: Comparación entre contadores.

MODELO	DESCRIPCIÓN	Imagen	Precio
Medidor de agua surtidos único Realiance Water Controls	WATM198854, Clase A 2500 l/h Macho BSP de 3/4 pulg.		115,20 €
Contador de agua Altecnic	GG-DALC25P1, Clase A, B 7000 l/h Macho BSP de 1 pulg.		171,20 €

Estos contadores ofertados por la compañía *RS Components LTD*, son los que satisfacen de manera más ajustada las necesidades.

Las zonas de riego y extracción no sobrepasan los 2500 l/h de caudal, sin embargo la de limpieza sí. Por tanto, se comprarían tres contadores Realiance Water Controls y uno Altecnic.

- b) **Separación de aguas pluviales de residuales.** Este método, en el que se utilizar el agua pluvial como agua limpia, no tiene ningún coste económico.

Con todo esto, la reducción en el consumo de agua es de menos de un 10%, supondremos un 7%, ahora pasaremos a ver si es rentable el uso de contadores y la separación de aguas pluviales y residuales.

Ahora procederemos a calcular el canon de saneamiento antes y después de la reducción. El caudal que vertimos será el de la limpieza, ya que el que se introduce en los extractores pasa a formar parte del producto.

- Canon de Saneamiento antes:

Para calcular el Canon de Saneamiento se necesitan saber 3 parámetros:

- *Volumen anual consumido:* en este caso, si tenemos una jornada de 8 horas de trabajo y se trabajan 300 días al año, el volumen consumido sería 8400 m³/año en el proceso de limpieza y 3800 m³/año, lo que sale un total de 12240 m³/año.
- *Carga contaminante:* los valores de carga contaminante en la industria agroalimentaria, de zumos en este caso, están entre 3.5 - 4.5. Para este ejemplo, supondremos 3.75.
- *Coefficiente de vertido:* valores vertidos no reutilizados. En este caso, todo lo que se utiliza en limpieza, se vierte, esto supone el 69% del agua total consumida.



La calculadora da como respuesta el valor del importe anual del Canon de Saneamiento introduciendo datos supuestos para el volumen anual consumido, la naturaleza domestica o no domestica del consumo, y el valor estimado de los coeficientes correctores para la carga contaminante (Cc) y para el volumen realmente vertido (Cv), con valores comprendidos entre 0.5 y 8 y entre 0.1 y 1, respectivamente, salvo casos excepcionales en los que en virtud de un expediente aprobado al efecto por el Consejo de Gobierno se establezca un coeficiente corrector superior o inferior.

TIPO DE USUARIO

Doméstico No Doméstico

12240

0.69

3.75

CALCULAR

Importe a pagar en concepto de
Canon de Saneamiento

No Doméstico

Tipo de usuario: No Doméstico

Coeficiente volumen: 0.69

Coeficiente Corrector: 3.75

Volumen Anual Vertido: 8.445,60 m³/a

Mensual: 1.117,54 €

Bimestral: 2.235,08 €

Trimestral: 3.352,62 €

Anual: 13.410,50 €

Con estos datos, habría que pagar 13410,50 € al año.

- Canon de Saneamiento después:

El único cambio es la instalación de los cuatro contadores, lo que desemboca en una reducción del agua consumida (7% menos).

Importe a pagar en concepto de
Canon de Saneamiento

No Doméstico

Tipo de usuario: No Doméstico

Coeficiente volumen: 0.69

Coeficiente Corrector: 3.75

Volumen Anual Vertido: 7.854,41 m³/a

Mensual: 1.039,95 €

Bimestral: 2.079,89 €

Trimestral: 3.119,84 €

Anual: 12.479,37 €



- **Rentabilidad:**

El ahorro por la instalación de contadores es de 931,13 € a lo largo de un año. Si la inversión de todos los contadores es de 516,80 €, se amortizaría en 7 meses. En un año, utilizando el criterio de evaluación B/C, sale un resultado superior a 1, por tanto, sí sería recomendable realizar esta inversión.

Una vez visto los efectos que tienen la instalación de contadores y la separación de los contadores, procedamos a ver cómo afectaría la reutilización del agua residual en otras actividades.

- c) **Reutilización de agua residual.** Como se vio en el apartado “4.1.4. Reutilización del agua en la industria alimentaria” el agua que se utiliza en esta industria de zumos puede ser reutilizada para diferentes actividades, como el riego de cultivo, baldeo y limpieza de maquinaria. Por tanto, podemos estimar que se puede llegar a reutilizar un 10% del agua residual. Con estos nuevos datos, el Canon de Saneamiento quedaría:



Lo que reduciría la recuperación de la inversión a 3 meses.

En resumen:

Tabla 5.2: Resumen ejemplo 1.

Medida de hidroeficiencia	Reducción de agua consumida	Reutilización de agua	Inversión	Reducción canon anual	Recuperación inversión
Contadores + Separación aguas pluviales	7%	-	516,80 €	931,13 €	7 meses
Contadores + Reutilización agua residual	7%	10%	516,80 €	2.179,07 €	3 meses



5.1.2. Modificación en el proceso productivo

5.1.2.1. *Industria alimentaria*

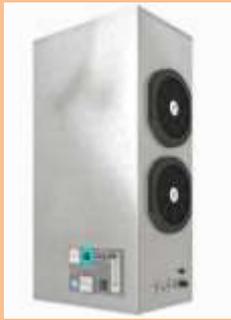
El primer ejemplo que se expone es industria alimentaria, donde el agua residual debe ser tratada para volver a utilizarla en el proceso, ya que las propiedades del agua son muy exigentes.

Se utilizarán las tecnologías ecoeficientes vistas en el apartado “4.1.2. *Tratamientos avanzados de agua residual industrial*”. Concretamente, se seleccionará, para este ejemplo, el tratamiento destructivo “Oxidación mediante Ozono” o agua ozonizada.

Para poder reutilizar el agua, se necesitará un generador que pueda aportar el suficiente ozono como para eliminar los contaminantes del agua.

La empresa tendrá un consumo de agua de 6 m³/h. Para depurarla, se realiza una filtración antes de tratarla mediante agua ozonizada.

Tabla 5.3: Generadores de ozono.

Nombre	Descripción	Imagen	Precio
Generador de ozono Dual 20G	Equipo diseñado para tratamiento de aguas potables, higiene y seguridad alimentaria. Elimina bacterias, virus, hongos y compuestos orgánicos volátiles. Suministra ozono en un rango de 0 a 20g/h pudiendo ajustarse.		8.321,04 €
Generador de ozono 20G	Acaba con malos olores y agentes contaminantes de aire o agua, como bacterias, virus, hongos y compuestos volátiles. Recomendado para industrias alimentarias. Suministra 20g/h de ozono.		7.031,55 €
Generador de ozono 50G	Elimina los contaminantes de agua y aire como son bacterias, virus y sustancias químicas, además de malos olores. Diseñado para procesos industriales donde se requiere seguridad, fiabilidad y control constante. Recomendado para industria vitivinícola, conserveras y mataderos de porcino, aves y vacuno. Suministra 50g/h de ozono no regulables.		10.326,36 €



Los productos que se muestran en la tabla 5.2, son los que más se ajustan a las necesidades de la industria. Estos productos son ofertados por el grupo COSOMAR OZONO (ozonohogar.es).

De los tres generadores el que más se ajusta a las prestaciones es el Dual 20G, debido que la mayoría de las empresas alimentarias tienen periodos de más producción que otros, por tanto, la contaminación puede variar y el ajuste de producción de ozono es fundamental.

Además para 6 m³/h, con 20 g/h de ozono es suficiente, si tomamos que el ozono necesario para 1 litro de agua superficial contaminada genérica es de 2,5 – 5 mg/l.

Importe a pagar en concepto de Canon de Saneamiento	
No Doméstico	
Tipo de usuario: No Doméstico	
Coefficiente volumen: 1	
Coefficiente Corrector: 2	
Volumen Anual Vertido: 15.360,00 m ³ /a	
Mensual: 1.082,20 €	
Bimestral: 2.164,40 €	
Trimestral: 3.246,60 €	
Anual: 12.986,40 €	

Importe a pagar en concepto de Canon de Saneamiento	
No Doméstico	
Tipo de usuario: No Doméstico	
Coefficiente volumen: 0.56	
Coefficiente Corrector: 1.5	
Volumen Anual Vertido: 8.601,60 m ³ /a	
Mensual: 454,52 €	
Bimestral: 909,05 €	
Trimestral: 1.363,57 €	
Anual: 5.454,29 €	

Al reducir el volumen vertido y el coeficiente corrector, en el canon de saneamiento, al cabo de un año, se ahorra 7532,11€.

Además, según el INE en 2016, el precio medio del agua en la Región de Murcia es de 2,61€/m³. Por tanto, al reutilizar el agua se ahorran 6758,40€ al año.

Por el contrario, el consumo de potencia (450 W) durante todo el año, hace pagar 144,58 € al año, contratando una tarifa de la compañía ENDESA de 0.1255 €/kWh.

- Rentabilidad:

Costes: 144,58 + 8321,04 = 8465,62€

Beneficios: 7532,11 + 6758,40 = 14293,51€

B/C = 1,69

Por tanto, al ser B/C > 1, este plan de hidroeficiencia es rentable.



5.1.2.2. Industria metalúrgica

La galvanoplastia es un procedimiento que se encarga de recubrir una superficie con finas capas (micras) de metal que aporta sus propiedades. Los principales metales utilizados son níquel, cinc, cobre y cadmio.

El procedimiento trata de una inmersión de la pieza a recubrir en un baño electrolítico, de esta manera los iones metálicos del baño, se reducen en la superficie introducida.

Este tratamiento produce una cantidad grande de agua residual que se caracteriza por la presencia de sales del metal reducido.

Uno de los tratamientos que se pueden utilizar es la ósmosis inversa. Este proceso permite separar las sales metálicas del agua. Esto tiene dos ventajas, una de ellas es la utilización de sales par nuevos procesos de galvanizado, y la segunda es la reutilización del agua tratada en el enjuague mediante un sistema en cascada.

Tabla 5.4: Equipos de ósmosis inversa.

Nombre	Descripción	Imagen	Precio
Equipo ósmosis inversa industrial iro-1800	Conversión del 50 % al 75 %. Caudal máximo de 1800 l/h. TDS máximos de 2000 ppm. Potencia 4 CV.		25.600 €
Equipo ósmosis inversa industrial iro-2500	Conversión del 50 % al 75 %. Caudal máximo de 2500 l/h. TDS máximos de 2000 ppm. Potencia 7,5 CV.		18.100 €
Equipo ósmosis inversa industrial iro-5000	Conversión del 50 % al 75 %. Caudal máximo de 5000 l/h. TDS máximos de 2000 ppm. Potencia 10 CV.		25.600,00 €



Para ver los detalles de estas máquinas se ha utilizado la web solostocks.com.

La industria con la que haremos el ejemplo tiene un consumo de agua de 2000 l/h, por tanto, la mejor opción es el *Equipo de ósmosis inversa iso-2500*.

Suponiendo una conversión del 65% (dentro del rango 50-70 visto en la tabla), obtenemos los siguientes costes y beneficios.

Importe a pagar en concepto de Canon de Saneamiento	
No Doméstico	No Doméstico
Tipo de usuario: No Doméstico	Tipo de usuario: No Doméstico
Coefficiente volumen: 1	Coefficiente volumen: 0.35
Coefficiente Corrector: 4	Coefficiente Corrector: 2
Volumen Anual Vertido: 5.120,00 m ³ /a	Volumen Anual Vertido: 1.792,00 m ³ /a
Mensual: 730,80 €	Mensual: 127,89 €
Bimestral: 1.461,60 €	Bimestral: 255,78 €
Trimestral: 2.192,40 €	Trimestral: 383,67 €
Anual: 8.769,60 €	Anual: 1.534,68 €

Sólo en el canon de saneamiento ya se ahorra 7234,92€.

El ahorro en el consumo del agua es del 65% y por tanto de 8686,08€.

El consumo de energía es de 10 CV, lo que en un año equivale a 19089,92 kWh, que son 2395,78 €.

- Rentabilidad:

$$\text{Costes} = 2395,78 + 18100 = 20495,79 \text{ €}$$

$$\text{Beneficios} = 7234,92 + 8686,08 = 15921 \text{ €}$$

$$B/C = 0,78$$

Como se ve el valor del cociente B/C es inferior a 1. Esto se debe a dos factores:

- 1) El uso de equipos de ósmosis industriales supone una gran inversión inicial, ya que se trata maquinaria cara y con muchos años de vida útil, por ello en un año es difícil ver una recuperación de la inversión.



- 2) No se ha cuantificado la cantidad de metales recuperados, ya que depende de la industria concreta con la que se está trabajando y del tipo de material de galvanizado (níquel, cobre...).

Estos dos factores junto a una responsabilidad ambiental, en forma de preocupación por la huella hídrica gris (menor carga contaminante al vertido), supone una buena inversión a largo plazo para cualquier empresa metalúrgica.

Fuente: Condorchem Envitech. (2019). *Tratamiento de aguas residuales y efluentes en la industria de tratamiento de superficies metálicas*.

Recuperado de: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-residuales-y-efluentes-en-la-industria-de-tratamiento-de-superficies-metalicas/>

5.1.2.3. Edificio público

Este ejemplo se tratará de una clínica en el que se tenga que disipar 1200 kW de potencia calorífica.

Para ello, mediante un catálogo ofrecido por *Zelsio Equipamiento Industrial*, en su página web (refrigeracionzelsio.es), tenemos diferentes tipos de torres de refrigeración para satisfacer esta demanda.

Tabla 5.5: Torres de refrigeración

Nombre	Descripción	Imagen	Precio
TEVA TVA-44	Capacidad Nominal: 438 kW		13.210,00 €
	Caudal Aire: 8,45 m ³ /h		
	Caudal Agua: 75,3 m ³ /h		
	Ventiladores axiales		
	Potencia motor: 2,2 kW		
TEVA TVA-62	Capacidad Nominal: 624 kW		18.610,00 €
	Caudal Aire: 12,08 m ³ /h		
	Caudal Agua: 107,3 m ³ /h		
	Ventiladores axiales		
	Potencia motor: 4 kW		
TEVA TVA-78	Capacidad Nominal: 794 kW		21.630,00 €
	Caudal Aire: 13,76 m ³ /h		
	Caudal Agua: 136,6 m ³ /h		
	Ventiladores axiales		
	Potencia motor: 7,5 kW		



Para satisfacer las necesidades de la clínica, podemos utilizar diferentes configuraciones:

- a) 3 TVA-44: supondría un coste de 39630 € de inversión. Además, si estimamos en un 5 % las purgas, habría que añadir 29,48 € de agua a la hora. Por último, el gasto eléctrico de los ventiladores sería de 0,83 € la hora, con la tarifa de *ENDESA* vista anteriormente.
- b) 2 TVA-62: supondrían 37220 € de gasto inicial. Añadiendo 28 €/h de consumo de agua. En cuanto al gasto eléctrico es de 1 €/h.
- c) 1 TVA-78 + 1 TVA-44: inversión inicial de 34840 €. Gasto en agua por purga de 10,60 €, y gasto de red eléctrica 1,21 €/h.

Siendo una clínica que está abierta todos los días del año, 24 horas, los gastos en un año quedarían de la siguiente manera:

Tabla 5.6: Gasto (€) en un año de las diferentes configuraciones.

Método	Inversión fija (€)	Gasto por purga (€)	Gasto eléctrico (€)	TOTAL (€)
3 TVA-44	39630,00	258244,80	7270,80	305145,60
2 TVA-62	37220,00	245280,00	8760,00	291260,00
1 TVA-78 + 1 TVA-44	34840,00	92856,00	10599,60	138295,60

Atendiendo a esta tabla, está claro que la mejor configuración, y por tanto, el mejor plan de hidroeficiencia será el que tenga como configuración juntar un equipo TVA-78 con otro TVA-44.

5.2. FINALIZAR EL PLAN DE HIDROEFICIENCIA

Si se trataran de procesos prácticos y no como los ejemplos anteriores, que son algo más teóricos, sería necesario ajustarse a los datos que pide el plan VIGIA, y darlos tal y cómo los piden, es decir, ceñirse al punto f) del apartado “4.2 MÉTODOS”.

Por último, se creará una conciencia hídrica y se evaluarán los resultados cada seis meses, comprobando si se han conseguido los objetivos propuestos.



6. CONCLUSIONES



6. **CONCLUSIONES**

1.-En base a lo expuesto en este trabajo, sabemos el agua es el bien máspreciado en la actualidad, debido a su importancia para la vida y escasez mundial. Por ello es importante un correcto uso de dicho recurso.

2.-En referencia al sector industrial, un correcto plan de hidroeficiencia es necesario para conseguir una reducción del consumo de agua, además de un ahorro económico y energético para la empresa.

3.-Para elaborar correctamente un plan de hidroeficiencia industrial se deben seguir las siguientes pautas:

- Identificar puntos de consumo críticos.
- Implantar tecnologías de ahorro.
- Determinar la rentabilidad económica y ambiental de las tecnologías aplicadas.
- Revisar el plan y ver si se siguen los procedimientos diseñados para alcanzar los objetivos propuestos.
- Crear una conciencia ambiental entre los trabajadores de la empresa.
- Cumplir los requisitos administrativos de su implantación conforme al organismo autónómico pertinente. En caso de realizarse en una empresa ubicada en la Región de Murcia deberá adecuarse a los requisitos del plan VIGIA de la CARM.

4.-La mayoría de los métodos para reducir el consumo de agua implica reutilización del agua de proceso. Esto requiere en algunos casos unos tratamientos adicionales que dependerán de la procedencia del agua y de su posterior uso. El agua no regenerada será vertida, siempre con las características que están establecidas por ley, dependiendo de a dónde se vierta (cauce público o alcantarillado local).

5.-En este trabajo se han expuesto cuatro ejemplos. Para los tres primeros, se tendrá en cuenta una jornada laboral de 8 horas, durante 320 días al año. En el último, al tratarse de una clínica sanitaria, supondremos que está abierto todo el año, las 24 horas del día.

6.-En el primero de ellos no se requiere de ningún tratamiento adicional del agua, sino que se trata de una mejora en la empresa mediante la instalación de contadores, que permiten detectar posibles fugas y deterioros de las tuberías. Además, al tratarse de un tipo de industria alimentaria, el agua de proceso se puede reutilizar en otras operaciones, como el baldeo y riego.

7.-En los ejemplos posteriores hay una modificación en el proceso de producción. En los dos primeros vemos diferentes tipos de industrias en las que la mejora en el proceso de producción equivale a un ahorro en el consumo hídrico y por tanto, económico. También se tiene en cuenta el consumo energético, porque un objetivo del trabajo era demostrar la dualidad agua – energía. En este caso, para tratar mayor cantidad de agua (o agua más contaminada), se necesita más energía. No obstante, el mayor uso energético se compensa con la mayor cantidad de agua reutilizada. Otra vertiente por la que se ahorra económicamente es debido al pago del canon de saneamiento. A mayor agua regenerado, menor vertido y por tanto, menor impuesto de saneamiento.

8.-En el último ejemplo se debate las diferentes configuraciones que se pueden aplicar con el mismo sistema de ahorro. Esto también es parte fundamental de un buen plan de



hidroeficiencia, ya que sin un correcto diseño en la modificación del proceso de producción, estaríamos malgastando agua y dejando de ahorrar una gran cantidad de dinero.

9.-Con todo esto, se llega a la conclusión final de que un buen plan de hidroeficiencia debe cumplir los siguientes objetivos:

- Estudiar correctamente el proceso industrial, para saber si hay necesidad o no de modificar el proceso de producción.
- Concretar el origen del que proviene el agua y el uso posterior que se le va a dar una vez regenerada, para saber el tipo de tratamiento a usar.
- Cumplir todas las normas y leyes sobre el tratamiento del agua industrial y su vertido.
- Hacer balances económicos, hídricos y ambientales con las diferentes configuraciones en los puntos del proceso productivo modificado.
- Cumplir la normativa local y los requisitos administrativos necesarios de cada entidad autonómica.

Estos son los objetivos propuestos al comienzo del trabajo y que se consiguen elaborando un plan de hidroeficiencia que siga las pautas que han sido marcadas durante todo el documento.



7. BIBLIOGRAFÍA

Fundación Aqua. (2014). *Principales datos del agua en el mundo*.

Recuperado de: www.fundacionaqua.org/wiki-aqua/datos-del-agua/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2003). *La cantidad de agua domiciliar, el nivel de servicio y salud*.

Recuperado de: www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/es/

Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales, Universidad de Sevilla. (2005). *El consumo de agua en porcentajes*.

Recuperado de: www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/el-consumo-de-agua-en-porcentajes.asp

Geografía infinita. (2017). *El mapa interactivo del consumo de agua de los hogares en España*.

Recuperado de: www.geografiainfinita.com/2017/11/este-es-el-mapa-interactivo-del-consumo-de-agua-en-espana/

Zarza, L.F. (2017). *La Guerra del Agua, un futuro distópico no tan lejano*.

Recuperado de: www.iagua.es/blogs/laura-f-zarza/guerra-agua-futuro-distopico-no-tan-lejano

RAE. (2018). *Real Academia Española*.

Recuperado de: dle.rae.es/?id=Y7WvsTd

El País. (2017). *Agua del Ártico, a 94 euros la botella*.

Recuperado de: https://elpais.com/elpais/2017/03/07/ciencia/1488901109_865033.html

El Economista. (2016). *Casi un cuarto del suministro de agua en España se desperdicia*.

Recuperado de: www.economista.es/empresas-finanzas/noticias/7805576/09/16/Casi-un-cuarto-del-suministro-de-agua-en-Espana-se-desperdicia.html

El Economista. (2014). *La ONU alerta de la interdependencia entre agua y energía y del aumento del consumo*.

Recuperado de: elpais.com/economia/2014/03/21/agencias/1395387978_640405.html

Universidad de Alicante. (2018). *Nuevo sistema autónomo para desalación y potabilización de agua con energía solar*.

Recuperado de: www.iagua.es/noticias/universidad-alicante/nuevo-sistema-autonomo-desalacion-y-potabilizacion-agua-energia-solar

Definición.de. (2017). *Definición de Ambiente Natural*.

Recuperado de: <https://definicion.de/ambiente-natural/>

Estrella de Levante. (2018). *Estrella de Levante recibe el premio a la ecogestión*. Recuperado

de: <http://www.estrelladelevante.es/estrella-de-levante-premio-desarrollo-sostenible/>

Consejería de Agricultura y Agua. (2014). *Guía sobre medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en industrias y edificios industriales*.



Recuperado de: agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/09/GUIA_AHORRO_AGUA_INDUSTRIA.pdf

20minutos. (2013). *Cuestión de ahorrar agua: grifos y complementos que nos ayudan*.

Recuperado de:

<https://www.20minutos.es/noticia/1914015/0/ahorroagua/grifos/complementos/>

Agua, Energía y Medioambiente Servicios Integrales S.L.U. (AEMA). (2014). *Reutilización de aguas industriales: Tecnologías adecuadas para su regeneración*.

Recuperado de: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/reutilizacion-de-aguas-industriales-tecnologias-adecuadas-para-su-regeneracion>

Instituto tecnológico de la industria agroalimentaria (AINIA). (2016). *El proceso de ozonización puede reducir un 42 % el consumo de agua utilizando agua regenerada*.

Recuperado de: <https://www.iagua.es/noticias/espana/ainia/16/08/03/proceso-ozonizacion-puede-reducir-42-consumo-agua-utilizando-agua>

Instituto tecnológico de la industria agroalimentaria (AINIA). (2017). *Nuevas tecnologías podrían ahorrar un 44 % de agua en la industria de alimentación y cosmética*.

Recuperado de: <https://www.iagua.es/noticias/espana/ainia/17/02/07/nuevas-tecnologias-podrian-ahorrar-44-agua-industria-alimentacion-y>

Universidad Complutense de Madrid. (2019). *Tratamiento de aguas residuales mediante oxidación húmeda*.

Recuperado de: <https://www.ucm.es/otri/complutransfer-tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-oxidacion-humeda>

Instituto tecnológico de la industria agroalimentaria (AINIA). (2016). *Oxidación en agua supercrítica, aplicaciones para tratamientos de depuración de aguas residuales*.

Recuperado de: <https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/oxidacion-en-agua-supercritica-aplicaciones-para-tratamientos-de-depuracion-de-aguas-residuales/>

Agroinformación. (2018). *ECO3WASH, la planta que permite regenerar y reutilizar el agua residual del lavado de los cítricos*. Recuperado de:

<https://agroinformacion.com/eco3wash-la-planta-permite-regenerar-reutilizar-agua-residual-del-lavado-los-citricos/>

Rodríguez Fernández-Alba, A., Letón García, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernández, S., Sanz García, J.M. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. España.

AINIA. (2013). *La reutilización del agua en la industria alimentaria: Hacia la máxima eficiencia en el uso del agua*.

Recuperado de: <https://www.ainia.es/insights/la-reutilizacion-del-agua-en-la-industria-alimentaria-hacia-la-maxima-eficiencia-en-el-uso-del-agua/>

Asociación de Empresarios del Henares (ADAHE) y Fundación Mapfre (FM). (2011). *Guía de Hidroeficiencia Industrial*.

Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM). (2007). *Planes de ahorro de agua en la industria (Sistema VIGIA)*.

Escuela de Organización Industrial (EOI). (2001). *Aplicaciones del manual media a sectores industriales: sector industria cárnica*.



Departamento Técnico de COFRICO. (2018). *La refrigeración de los Centros de Datos*. Recuperado de: <https://www.cofrico.com/procesos-industriales/la-refrigeracion-de-los-centros-de-datos/>

Martínez Carrasco, P. (2008). *Recopilación de reglas, normas y recomendaciones para la escritura de números y unidades del sistema Internacional, SI*.

Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2012). *Guía sobre Hidroeficiencia Energética*.

Martínez, G. (2016). *Baja California será líder en el país en plantas desaladoras*.

Recuperado de: <https://www.economista.com.mx/estados/Baja-California-sera-lider-en-el-pais-en-plantas-desaladoras-20160711-01113.html>

Gardey, A. (2015). *Definición de Ambiente Natural*.

Recuperado de: <https://definicion.de/ambiente-natural/>

Zarza, L.F. (2017). *La Guerra del agua, un futuro distópico no tan lejano*.

Recuperado de: <https://www.iagua.es/blogs/laura-f-zarza/guerra-agua-futuro-distopico-no-tan-lejano>

Cuídateplus. (2001). *De dónde se extrae el agua*.

Recuperado

de:

<https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/nutricion/2001/03/21/donde-extrae-agua-9987.html>

Aquabook. (2016). *El lugar del agua subterránea en el ciclo hidrológico*.

Recuperado de: http://aquabook.agua.gob.ar/400_0

AINIA (2016). *Oxidación en agua supercrítica, aplicaciones para tratamientos de depuración de aguas residuales*.

Fuente: AINIA. (2013). *La reutilización del agua en la industria alimentaria: Hacia la máxima eficiencia en el uso del agua*.

Recuperado de: <https://www.ainia.es/insights/la-reutilizacion-del-agua-en-la-industria-alimentaria-hacia-la-maxima-eficiencia-en-el-uso-del-agua/>

Fuente: Ponce Ochoa, E. (2005). *Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada*.

Recuperado de: Colección de Tesis Digitales

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/)