

LOS VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS CERVECERAS

I.- Introducción e importancia del sector

El sector cervecero se encuentra dentro de la actividades del anejo 1 de la Ley IPPC bajo el epígrafe 9.1 b2) Tratamiento y transformación destinados a la fabricación de productos alimenticios a partir de materia prima vegetal de una capacidad de producción de productos acabados superior a 300 t/d (valor medio trimestral).

En el año 2003, la producción de cerveza en España, en las 20 factorías del sector ha sido de 30,7 millones de hectolitros litros de cerveza.

España se consolida, con su crecimiento sostenido, como tercer productor de cerveza de la Unión Europea, sólo por detrás de Alemania y el Reino Unido, el primer productor de cerveza del sur de Europa por delante de Francia e Italia, y el noveno del mundo.

El sector cervecero español, tiene gran peso en el panorama agroalimentario, es el segundo en importancia, con una facturación similar a la del vino y muy cercana a la del aceite de oliva.

Asimismo, genera alrededor de 8.000 empleos directos y 240.000 indirectos en España, lo que revierte en el impulso de la economía nacional, a la que aporta 5.100 millones de euros anuales (0,7 % del PIB).

La industria cervecera siempre se ha caracterizado por su preocupación por la protección del medio ambiente y ha sido pionera en la organización de sistemas tendentes a la reducción del impacto medioambiental de los residuos de envases. Es el sector de la industria de la alimentación y las bebidas que mayor proporción pone en el mercado de envases reutilizables, llegando al 73% de envases reciclados y reutilizados

Los principales cerveceros de ámbito nacional, son el grupo Mahou San Miguel (GMSM), el grupo Heineken (que además de ser uno de los líderes mundiales del sector posee en España las marcas Heineken, Cruzcampo y Águila Ámstel) y el grupo DAMM. En el mercado peninsular también operan tres compañías cerveceras con una clara vocación regional y con una arraigada presencia en las regiones en las que están presentes: La Zaragozana (Zaragoza), Hijos de Rivera (La Coruña) y la adquirida por GMSM, Alhambra. En el mercado cervecero canario, el líder indiscutible según la notificante es la Compañía Cervecera de Canarias (propiedad del productor mundial South African Breweries).

En Andalucía existen cinco grandes fábricas de cervezas. La relación de las fábricas, en orden decreciente de importancia, en cuanto a su volumen de producción, con la localización y el grupo empresarial al que pertenecen, es la siguiente:

<i>Nombre</i>	<i>Localización</i>
Cruzcampo (Heineken)	Sevilla
San Miguel	Málaga
Heineken (El Alcázar)	Jaén
Cervezas Alhambra (Grupo Mahou San Miguel)	Granada y Córdoba

El sector tiene una notable importancia económica y social tanto en lo relacionado con en el cultivo de la cebada y la fabricación de la cerveza, como con la industria auxiliar asociada, sobre todo relacionada con el embotellado: fábrica de botellas, bidones, cápsulas, artes gráficas y cartonajes.

II- Procesos y generación de aguas residuales

Los principales ingredientes que participan en el proceso de fabricación de la cerveza son la cebada, el lúpulo, la levadura y el agua. De forma resumida, el proceso de fabricación tiene tres etapas fundamentales:

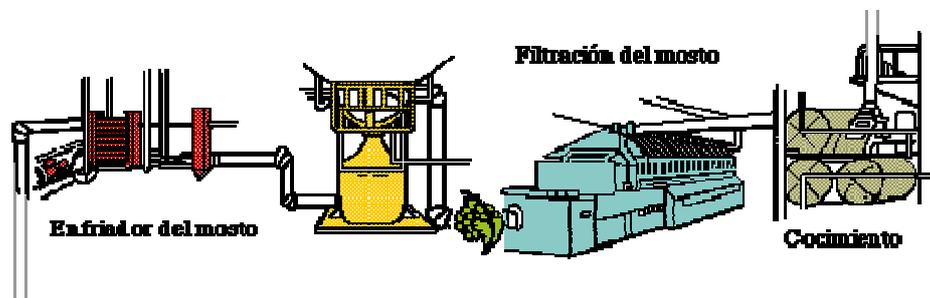
- Elaboración y cocimiento de la malta
- Fermentación y guarda
- Filtración

En primer lugar se realiza el **malteado** de la cebada, lo que requiere rigurosos controles de tiempo, humedad y temperatura. Se limpian los granos de cebada se separa el embrión y se remojan con agua aireada, dejándolos germinar. Cuando el crecimiento de la raicilla ha alcanzado el punto en que se consigue la disgregación del almidón a azúcares más sencillos y se han formado cantidades adecuadas de enzima, la cebada húmeda se lleva a un horno. Allí se aplica una corriente de aire caliente y seco para detener la germinación, y se va tostando lentamente. El grano obtenido en este proceso es la **malta** y se traslada a un molino de rodillos donde se realiza la **molturación ó molienda**. Los colores obtenidos en mostos y cervezas variarán según el tiempo de tueste.



La malta molida se mezcla con agua a temperatura conveniente y a este empaste se agrega arroz o maíz precocidos, para así generar los azúcares naturales capaces de fermentar. Para finalizar esta fase el orujo se elimina por filtración. El líquido resultante es el mosto y es sometido a ebullición donde se le añade el lúpulo. El lúpulo es el ingrediente que proporciona el amargor característico de la cerveza.

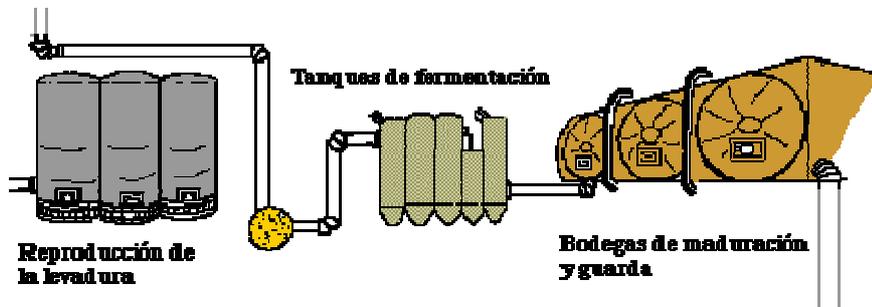
Posteriormente, el mosto claro es enfriado quedándose a la temperatura idónea para iniciar la fermentación, aproximadamente 10 °C.



Las levaduras constituyen el fermento que, cuidadosamente preparado antes de añadirlo al mosto, transforman, en el interior de los tanques de fermentación, parte de los azúcares en alcohol y anhídrido carbónico, el gas que produce la espuma de la cerveza y le imparte el picor característico.

Terminada la fermentación, que dura entre 8 y 10 días, la levadura decantada se separa y se lleva a depósitos especiales para su conservación. La cerveza se trasiega a tanques de maduración y guarda para darle su estabilidad y bouquet característicos, a temperaturas entre -1 y 4 °C. Dura entre 45 y 60 días.

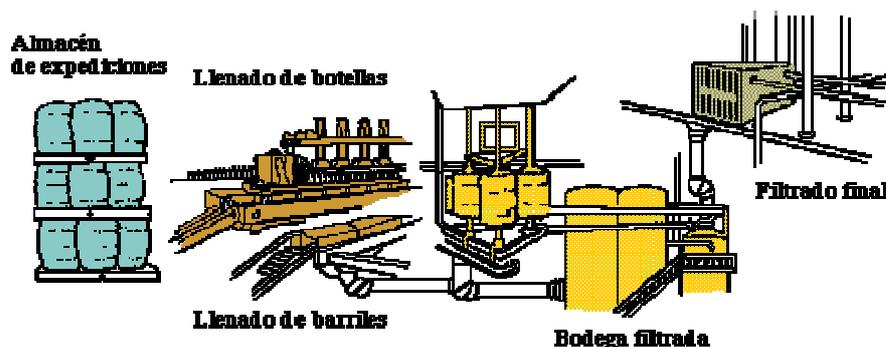
Tras la guarda, la cerveza es filtrada para asegurar la más alta transparencia y brillantez, empleándose tierras de diatomeas, silicagel y polivinilpirrolidona como materiales filtrantes.



Para garantizar la calidad microbiológica de la cerveza y su duración en el mercado en óptimas condiciones, se realiza después la **pasteurización**. El paso final es envasar la cerveza en las líneas embotelladoras y de barriles. Algunas de estas líneas pueden alcanzar velocidades de hasta 120.000 botellas/hora y 600 barriles/hora.

Una vez fabricada la cerveza, puede ser envasada en botellas retornables o sin retorno, latas o barril. Como paso previo al llenado se realiza el lavado de las botellas. La lavadora de botellas es una de las instalaciones más importantes del proceso de envasado. Las botellas llegan sucias del mercado y es necesaria una enérgica limpieza para asegurar que su reutilización no revista el más mínimo riesgo sanitario para el consumidor. Las botellas se sumergen en baños de detergente y más tarde son enjuagadas.

Posteriormente se realiza el llenado. Las llenadoras tienen como objetivo introducir en las botellas la cantidad exacta de cerveza, sin que se produzca la más mínima absorción de aire.



Después del etiquetado y paletizado, la cerveza ya está en condiciones de distribuirse en el mercado y de ser disfrutada por el consumidor final.

III- Usos del agua y características de las aguas residuales

El agua, tal y como ha podido apreciarse en el apartado anterior, además de formar parte del producto final (aproximadamente el 95% de la cerveza es agua), se emplea en diversas etapas de su fabricación. Concretamente, según se indica en la Guía de Mejores Técnicas Disponibles (GMTD) en España del Sector Cervecerero 2005, editada por el Ministerio de Medio Ambiente, el agua se consume en :

- limpieza de equipos e instalaciones,

- circuitos de refrigeración y calderas,
- envasado,
- sanitarias.

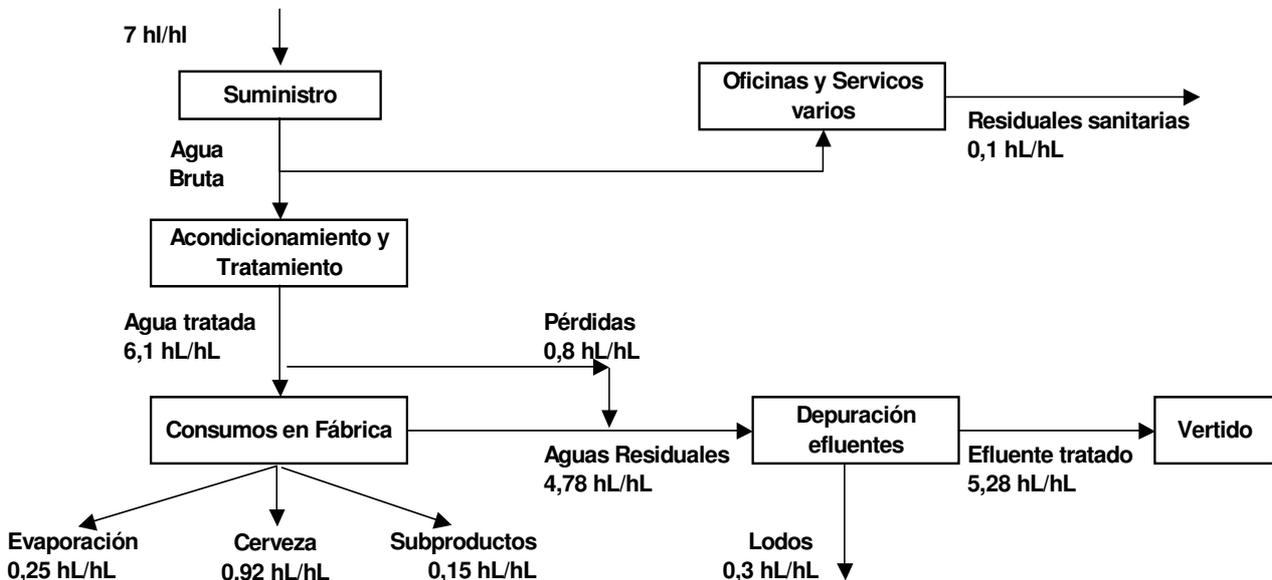
La calidad del agua empleada en la elaboración del mosto es un factor importante para determinar la calidad de la cerveza elaborada, dando las características del agua un sello específico a las cervezas.

El mayor consumo de agua se suele producir en las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones. En la línea de envasado se dan elevados consumos de agua en el acondicionamiento de los envases reutilizables, los túneles de pasteurización y la lubricación de las cintas de transporte en las líneas de envasado.

Mención aparte merece el agua utilizada en la operación de enfriamiento del mosto antes de introducirlo en los tanques de fermentación. Esta sencilla y rápida operación suele consumir por sí misma, al menos, tanta agua como mosto se produce en la instalación. Sin embargo, las condiciones favorables del agua de enfriamiento a la salida del intercambiador de calor, unido a la importante ganancia de temperatura que experimenta el agua de enfriamiento, la hace idónea para ser recuperada y reutilizada en otras partes del proceso productivo.

Según la GMTD, en las instalaciones españolas el consumo total de agua es de **4,4-8,6 hl/hl**. Estos valores incluyen el volumen total de agua de cualquier procedencia y destinada a cualquier uso, desde la preparación de agua para incorporación a producto (en los casos que sea necesario) hasta la utilizada para baldeos de limpieza o preparación de soluciones de limpieza CIP.

El consumo total medio en la antigua fábrica de Heineken en Sevilla, operativa hasta el 2007, es de unos 7 hl/ hl de cerveza producida, distribuidas de la siguiente forma:



Estos consumos por cada centro de actividad, serían los siguientes:

Proceso/Actividad	% Consumo agua
-------------------	----------------

Envasado	34
Cocimiento	20
Maltería	18
Bodegas	16
Servicios Generales	12

Según el informe ambiental del Grupo Mahou-San Miguel, los consumos de agua de los últimos años han sido los siguientes:

	2001	2002	2003	2004	Variación Media anual 2001-2004
Producción de cerveza (hl)	9.259.869	9.549.450	10.375.962	10.662.032	4,8%
Consumo unitario de agua (hl/hl cerveza)	5,47	4,77	4,46	4,47	-6,5%
Agua efluente (hl/hl cerveza)	3,93	3,28	2,92	2,99	-8,7%

	2005	2006
MAHOU-SAN MIGUEL	4,68	4,39
ALOVERA	4,16	3,63
LLEIDA	4,89	5,67
MÁLAGA	6	5,43
BURGOS	4,89	4,89
CANDELARIA	6,75	5,68

El volumen de agua residual que se genera en las instalaciones cerveceras corresponde al total consumido menos el incorporado al producto final, el que se evapora en las operaciones de producción y servicios auxiliares y la que queda absorbida en la matriz sólida de los residuos generados. Las aguas residuales de cervecería provienen, tal y como se ha indicado, tanto de la fabricación de malta y cerveza, como de los lavados y limpieza de equipos, instalaciones y envases.

Según la GMTD, el volumen total de agua residual vertida en los centros productivos españoles oscila entre 2,5- 7,2 hl/hl. Este amplio rango de emisión está relacionado directamente con el nivel de consumo de agua y con la eficiencia de la gestión que cada fábrica hace de este recurso.

El volumen total del agua residual producida proviene principalmente de las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones, siendo a la vez la corriente que normalmente aporta mayor carga contaminante, ya que las soluciones de limpieza además de contener diversas sustancias químicas como agentes de limpieza y desinfección, entran en contacto directo con la superficie de equipos, conductos y depósitos que han transportado o contenido mosto, cerveza o materias primas, incrementando así la carga contaminante.

Estas aguas residuales se caracterizan por una carga orgánica elevada, pH variable y concentraciones apreciables de sólidos en suspensión. El contenido en nitrógeno total suele ser alto, como consecuencia de los aportes de levadura a las aguas residuales

Respecto al efluente que se genera en la planta de acondicionamiento de agua de proceso, es muy difícil valorar en conjunto las características del vertido, ya que depende fuer-

temente de la composición del agua a la entrada y del sistema de acondicionamiento empleado, columnas de intercambio iónico, sistemas de ósmosis inversa o electrodiálisis para garantizar la composición constante del agua de proceso, que pueden verter corrientes de rechazo o de regeneración de resinas importantes, tanto en volumen como en carga inorgánica, originada por la concentración alta de sales

En la GMTD se indican los siguientes valores típicos de parámetros contaminantes, expresados en kg/hl de cerveza envasada.

	DQO	Sólidos en suspensión	Nitrógeno total	Fósforo total	Cloruros
Antes de depuración	0,5-2,9	0,06-0,28	0,01-0,06	0,01-0,1	0,06 - 0,2
Después de depuración	0,02 - 0,42	0,005-0,17	0,0026-0,031	0,0011-0,009	0,026-0,34

Los diferentes sistemas de depuración de que disponen las cerveceras y el modo en que son operados también es un factor de variabilidad importante como se desprende de los datos de la tabla anterior. Los distintos límites de vertido impuestos a las diferentes instalaciones en función del punto de vertido final y de la legislación en materia de aguas residuales que afecta a cada municipio o comunidad autónoma, influyen en los rendimientos de las depuradoras.

Los vertidos de las cerveceras presentan una gran discontinuidad diaria tanto en su caudal como en su composición, fundamentalmente originada por la zona de la instalación. Al igual que en las bodegas, influyen notablemente factores como el elemento que se esté lavando, la fase del lavado en que se tome la muestra, los productos de limpieza, el caudal que se mezcle con el vertido antes de su llegada al alcantarillado, la importancia de los derrames, etc.

La producción de cerveza está también muy influenciada por la época del año, elaborándose mucho más a finales de primavera y el verano, factor que ocasiona cambios tanto en la cantidad de agua a depurar como en las propiedades de la misma. Los fines de semana se suele parar la actividad, aunque quedan caudales residuales de refrigeración. Por las noches también suele pararse el envasado y parte de la elaboración, salvo en las épocas de mayor demanda.

Los datos medios básicos de estas aguas residuales, procedentes de varias fábricas europeas, son los siguientes:

Parámetro	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo
Consumo agua (m ³ /hL cerveza)	0,4	0,75	1,5
Volumen vertidos (m ³ /hL cerveza)	0,2	0,6	1,3
DBO ₅ del agua sin decantar (mg Oxígeno/L)	1.500	2.100	4.500
DBO ₅ del agua decantada (mg Oxígeno/L)	1.000	1.400	3.000
DQO del agua sin decantar (mg Oxígeno/L)	2.000	2.700	5.000
pH	4	7,5	12
SS (mg/l)	500	700	1.500

Por otro lado, en el Pollution Prevention and Abatement Handbook, editado por el World Bank Group en Julio 1998, y en la Guía sobre Mejores Técnicas Disponibles para la In-

industria Cervecera, conforme a la Directiva IPPC 96/61/CEE, elaborada por AINIA (Instituto Tecnológico Agroalimentario) se indica lo siguiente:

Parámetro	AINIA	World Bank
Vertido agua residual (hL/hL cerveza)	3,5 a 8	
DQO del agua sin decantar (mg Oxígeno/L)	3.300	2.400
COT del agua sin decantar (mg Oxígeno/L)	1.100	800
Nitrógeno total (mg/l)	30 a 100	65
Fósforo total (mg/L)	30 a 100	20

En la tabla siguiente, tomada de la fábrica de Sevilla hasta el 2007, pueden observarse los valores medios de DQO obtenidos en las diversas actividades:

Origen	DQO (mg/L)	CARGA DQO	
		Kg/m ³ cerveza	Kg/m ³ envasada
Agua molturación malta	4.000-6.000	0,67	0,5
Cuba filtro mosto	9.000-12.000	0,58	0,43
Lavado cuba filtro	7.000-10.000	0,23	0,17
Turbio	194.000	2,65	1,98
Levadura fermentadores	361.200	12,4	9,25
Levadura Tanques almacenamiento	259.300	5,45	4,07
Rechazo filtros cerveza	55.000	1,0	0,75
Soluciones limpieza CIP	2.000-15.000		
Pérdida de cerveza	191.000	1,91	1,43
Rebose lavadora botellas	500	0,45	0,34
Solución lavadora botellas	200-10.00		
TOTAL		25,34	18,92

Los datos globales que aporta el grupo Mahou San Miguel para sus cuatro fábricas en España, a la salida de la depuradora, en la declaración EPER (Registro Europeo de Emisiones Contaminantes) son los siguientes:

Emisiones al agua (kg/año)

	2001	2002	2003	2004
TOC (Carbono Orgánico Total)	653.072	630.756	555.475	395.422
Nitrógeno Total	56.290	53.534	53.397	77.448
Fósforo Total	25.106	15.644	18.323	17.109
Cloruros	1.550.551	1.282.057	1.485.047	945.308

En lo que a la carga de DQO del efluente depurado de estas instalaciones, el citado grupo manifiesta que ha descendido desde 0,232 hasta 0,139 kg/hl de cerveza producida.

La evolución de las emisiones, desglosadas por las diversas fábricas del grupo, correspondientes al 2005 y 2006 es la siguiente:

EMISIONES AL AGUA (KG /AÑO) 2005

	ALOVERA	LLEIDA	MÁLAGA	BURGOS
TOC (Carbono Orgánico Total)	26.231	14.126	141.421	411.406
Nitrógeno Total	9.636	9.373	4.749	21.018
Fósforo Total	3.244	4.092	2.245	808
Cloruros	335.326	99.004	379.995	15.031

EMISIONES AL AGUA (KG /AÑO) 2006

	ALOVERA	LLEIDA	MÁLAGA	BURGOS
TOC (Carbono Orgánico Total)	26.980	12.525	52.813	573.337
Nitrógeno Total	5.107	2.648	8.952	39.680
Fósforo Total	4.997	4.090	8.952	19.915
Cloruros	422.348	173.370	344.139	12.728

IV Tratamiento de las aguas residuales

En función de la calidad del agua que se exija al vertido de la depuradora, que a su vez depende si va a cauce o a alcantarillado que lo conduce a otra instalación de depuración, puede realizarse un tipo de tratamiento u otro. A título de ejemplo, se exponen los límites tan dispares de autorización existentes para cuatro cerveceras:

		LÍMITES			
ASPECTO	PARÁMETRO	Alovera	Lleida	Málaga	Burgos
Agua residual	D.Q.O.	160 mg/l	1.500 mg/l	1.500 mg/l	-
	Sólidos en suspensión	80 mg/l	500 mg/l	500 mg/l	-
	PH	6-9	-	-	6-10
	Fosfato	-	153 mg/l	-	-
	Sulfato	-	-	1.500	-
	Amonio	15 mg/l	65 mg/l	-	-

Cuando se requieren elevados rendimientos de depuración, normalmente la mejor tecnología disponible es una combinación de una etapa anaerobia a la que continua una aerobia, conforme al esquema siguiente:

- Línea de agua: Desbaste (tamizado), homogeneización (a veces acompañada de neutralización), decantación, ajuste de pH, digestión anaerobia, tratamiento aeróbico (lodos activados) y decantación secundaria.
- Línea de lodos: Espesamiento y deshidratación.

Dada las altas concentraciones de materia orgánica fácilmente biodegradable que tienen estos vertidos, es recomendable el empleo de un sistema anaerobio previo al aerobio, ya que el anaerobio suele conllevar una serie de ventajas para el sistema aerobio:

- Al disponer de un sistema anaerobio que elimina el 70-80% de la materia orgánica (DQO), el sistema aerobio no se encuentra sobrecargado.
- La fracción fácilmente biodegradable del agua residual ha sido eliminada por el sistema anaerobio, por lo que desaparece el fenómeno del bulking. Se produce una espectacular disminución del IVF.
- El sistema aerobio no requiere el mismo grado de atención, y el control sobre los parámetros de operación (por ejemplo F/M, O.D., SSVLM, etc.) no son esenciales.
- No suele ser necesaria la adición de nutrientes: Los sistemas anaerobios requieren menos nutrientes (relación $DBO_5:NK:P$ del orden de 1000–350 : 5 : 1) y eliminan cerca del 80% de la materia orgánica, por lo que es difícil que exista posteriormente déficit de nutrientes en el sistema aerobio.
- Disminuye la cantidad de fangos producidos por el sistema aerobio y además están más estabilizados.

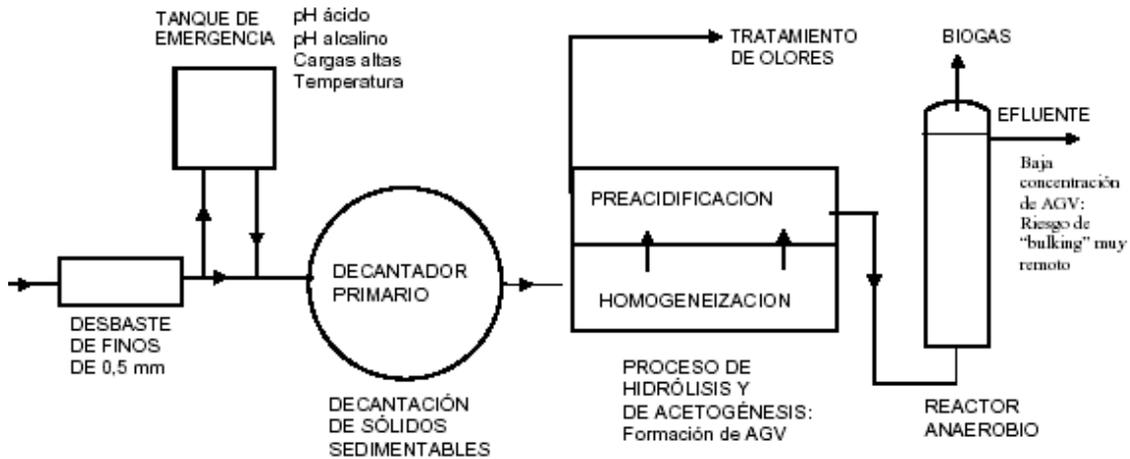
Los inconvenientes más relevantes que aparecen tras la incorporación del sistema anaerobio son:

- Requiere un mayor control del pH
- Requiere un mayor control de las cargas orgánicas que le llegan.
- La pérdida de biomasa debido a un exceso de carga orgánica (acidificación del reactor) a pH excesivamente ácidos o alcalinos, o a un shock tóxico, son irreversibles y requiere arrancar de nuevo el reactor con aporte externo de fango granular anaerobio.

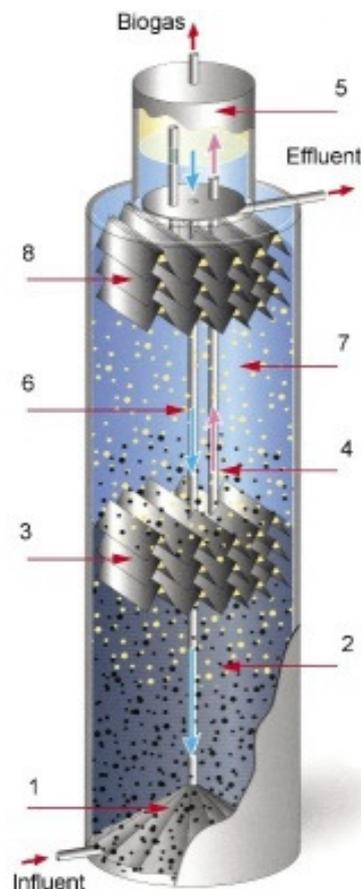
Las diferencias más importantes entre los sistemas aerobios y los anaerobios están recogidas en la siguiente Tabla.

PARAMETRO	AEROBIO	ANAEROBIO
DQO entrada	< 1,500 mg O ₂ / L	> 1,500 mg O ₂ / L
Estado de la biomasa	floculenta	granular
Formación de biomasa	0.7 Kg / Kg DQO eliminada	< 0.02 Kg / Kg DQO eliminada
Carga volumétrica	0.3 – 0.7 Kg / m ³ · d	10 – 30 Kg / m ³ · d
Carga másica	0.2 – 0.5 Kg / Kg SSV · d	0.5 – 1 Kg / SSV · d
Relación DBO / N / P	100 / 5 / 1	1,000 - 350 / 5 / 1
Rendimiento	90 – 95 %	80 – 85 %
Formación de biogas	NO	SI
Superficie requerida	Grande	Pequeña
Control de pH	Según los casos	Imprescindible
Parada de un reactor	Obliga a vaciar y arrancar de nuevo si es por cierto tiempo	La biomasa puede permanecer parada durante meses
Arranque del reactor	Rápida sin necesidad de aporte de biomasa externa	Lenta, y requiere el aporte de biomasa externa

La configuración básica del sistema anaerobio se encuentra representada en la siguiente figura:



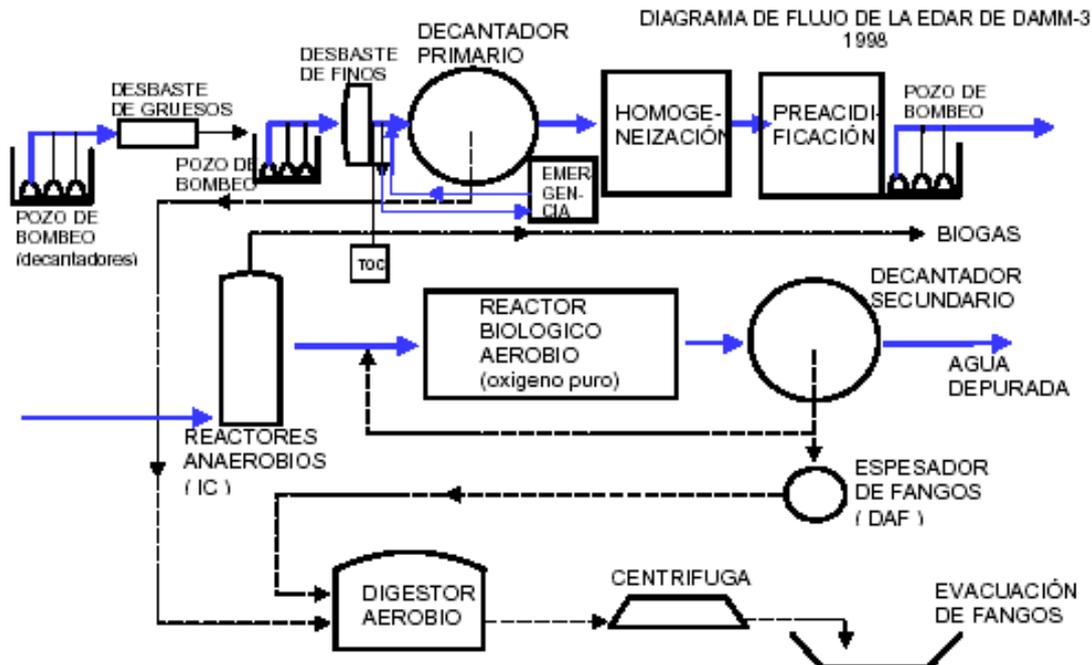
Existen distintos tipos de sistemas anaerobios para el tratamiento de aguas residuales, siendo el más extendido en las cerveceras el tipo UASB (upflow anaerobic sludge blanket), siendo el sistema anaerobio de recirculación interna (BIOPAQ-IC) uno de los más avanzados y de mayor implantación (ver figura).



El digester es un tanque vertical, con una altura entre 16 y 28 metros y una anchura entre 1,5 y 15 metros. El afluente es bombeado en el fondo del reactor utilizando un sistema de distribución, y se mezcla con la biomasa granular anaerobio (1). En el compartimiento inferior del reactor (2) la mayoría de los componentes orgánicos son convertidos en

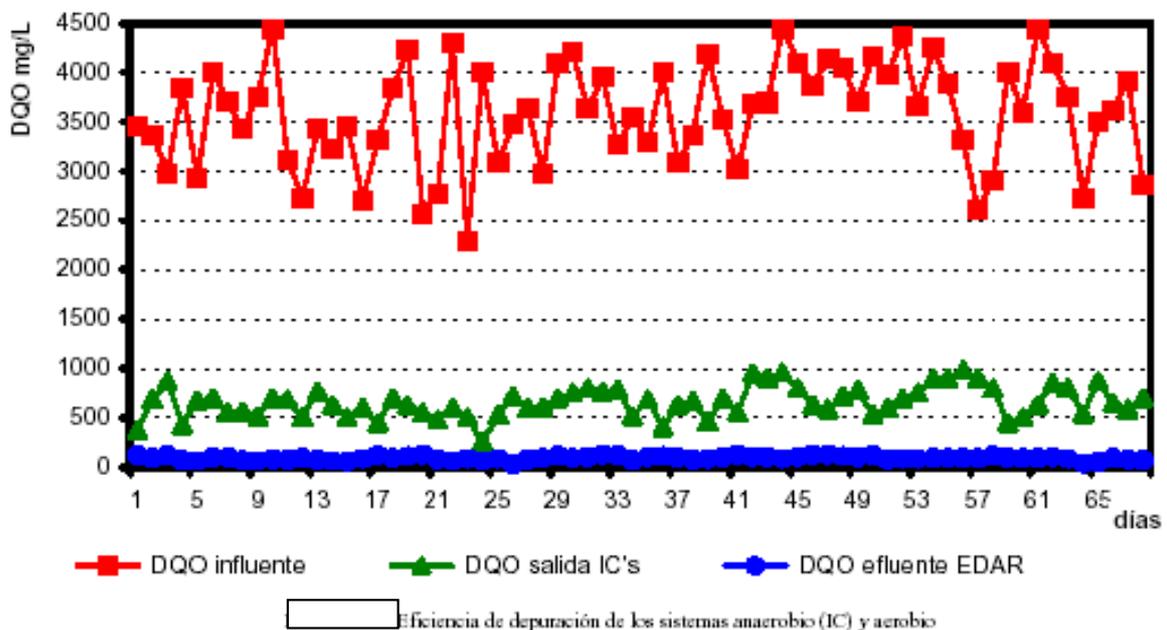
biogás que se recoge en la fase de separación de nivel inferior (3). Esto genera un "gas lift", que fuerza hacia arriba por el elevador (4) el líquido hacia el separador de la parte superior del reactor (5). El biogás sale del reactor a través de este separador, y el agua vuelve a través del conducto descendente (6) de nuevo a la parte inferior del sistema, de ahí el nombre, de circulación interna. Básicamente consiste en dos reactores UASB colocados uno encima del otro, En conjunto, la carga volumétrica en un reactor IC puede ser de 20-30 kg DQO/m³·d

En la figura siguiente puede verse el diagrama de flujo simplificado de la EDAR con sistema anaerobio, seguido de un aerobio.



En la siguiente gráfica se pone de manifiesto la eficiencia de depuración de los sistemas anaerobio (IC) y aerobio en una EDAR de una cervecera.

EVOLUCIÓN DQO EDAR DAMM-3



Como otro ejemplo, puede observarse la línea e imágenes de la EDARI que El Águila (Heineken) tiene en la fábrica de Quart de Poblet (Valencia).

