

TECNOLOGÍA MOVING BED BIOLOGICAL REACTOR (MBBR) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

A. CANUT, R. DUQUE, J. DONATO, R. SÁEZ
SOLUCIONES INDUSTRIALES Y TRATAMIENTOS AMBIENTALES, S.L (SITRA)



LA PRODUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES ES, CON FRECUENCIA, EL ASPECTO MEDIOAMBIENTAL MÁS RELEVANTE DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. EN GENERAL, ESTAS AGUAS PRESENTAN UN MARCADO CARÁCTER ORGÁNICO, SI BIEN PUEDEN PRESENTARSE A MENUDO CORRIENTES CARGADAS CON BIOCIDAS, PUNTAS DE PH Y DE CONDUCTIVIDAD, ASOCIADAS A OPERACIONES DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN. LAS CARGAS ORGÁNICAS PUEDEN SITUARSE ENTRE 10 Y 100 VECES SUPERIORES A LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS Y PRESENTAR DESCOMPENSACIÓN EN LOS RATIOS DE NUTRIENTES. ADEMÁS, ES COMÚN LA VARIABILIDAD EN LA CARGA LO LARGO DEL DÍA Y/O DE LA SEMANA ASOCIADA A CAMBIOS EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS REALIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE SUS PRODUCTOS, ASÍ COMO VARIACIONES EN LA NATURALEZA DE LOS VERTIDOS POR ESTACIONALIDAD EN LA PRODUCCIÓN CON EXISTENCIA DE CAMPAÑAS DISTINTAS. TODO ELLO EXIGE EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO CAPACES DE ABORDAR LAS PARTICULARIDADES DE ESTE SECTOR Y DAR RESPUESTA A LOS CAMBIOS QUE SE PRODUCEN EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES POR CAMBIOS EN LOS PRODUCTOS ELABORADOS, LOS PROCESOS PRODUCTIVOS Y LA FORMA DE TRABAJO. LA TECNOLOGÍA MOVING BED BIOLOGICAL REACTOR (MBBR) PROPORCIONA UNA SOLUCIÓN INNOVADORA QUE PERMITE LA ABSORCIÓN DE ALTAS CARGAS ORGÁNICAS EN UN MENOR ESPACIO, DE FORMA MÁS ROBUSTA FRENTE A VARIACIONES DE CARGA, Y ESPECIALMENTE A CONSIDERAR FRENTE A NECESIDADES DE AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PLANTAS EXISTENTES.

“ENTRE LOS SUBSECTORES AGROALIMENTARIOS EXISTEN DIFERENCIAS EN CONSUMO, VOLUMEN Y CARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES”

Características y problemáticas de las aguas residuales en la industria alimentaria

la industria alimentaria es una gran consumidora de agua para usos diversos (ingrediente, agente de limpieza, medio de transporte, refrigeración, calor para tratamientos térmicos, etc.). Este gran consumo lleva asociada la producción de volúmenes significativos de aguas residuales. Los efluentes de la industria alimentaria pueden clasificarse por su origen en los siguientes grupos:

- Aguas de proceso, que pueden definirse como aguas que intervienen en el proceso de fabricación y suelen estar en contacto con las materias primas o los productos semielaborados y finales (acondicionado de materias primas como lavados, escaldados, cocciones, marinados, tratamientos térmicos de conservación en forma de vapor o agua caliente, transporte de productos, etc).
- Aguas de limpieza de equipos e instalaciones (estas operaciones son muy importantes en la industria alimentaria, pues son necesarias para garantizar al salubridad de los alimentos elaborados). Es uno de los principales focos de consumo y generación de aguas residuales de las industrias agroalimentarias.
- Aguas de servicio (aguas de refrigeración, purgas de calderas, regeneración de intercambiadores, etc.). Suelen estar menos cargadas que las anteriores y debe ser optimizado su consumo mediante un buen mantenimiento de las instalaciones y la reutilización de las aguas hasta que sea posible. Las aguas de servicios se caracterizan por su alta temperatura (aguas de refrigeración y purgas de calderas), concentración de sales disueltas y/o ácidos o bases (regeneración de ablandamiento) y eventualmente trazas de aditivos químicos.
- Aguas sanitarias (utilizadas en los servicios de empleados duchas, aseos, lavabos, etc.). Son similares a las aguas domésticas.

Las aguas de proceso y las de limpieza son las más importantes y suelen caracterizarse por su contenido en materia orgánica y sólidos en suspensión, con la aportación, según el tipo de industria, de otros contaminantes procedentes de la materia prima (sales disueltas, aceites y grasas, fenoles, nitratos, fosfatos, potasio, etc.), de productos químicos que intervienen en los procesos de fabricación (ácidos, álcalis, salmueras, etc....) o de productos de limpieza.

Entre los distintos subsectores agroalimentarios existen grandes diferencias en consumo y volumen y carga de las aguas residuales. No obstante, en general, se puede observar como en todos ellos la característica común es el marcado carácter orgánico. Las aguas residuales agroalimentarias contienen una carga orgánica entre 10-100 veces mayor que las aguas residuales urbanas. Casi todos los vertidos agroalimentarios presentan altos niveles de biodegradabilidad. Los vertidos de la industria alimentaria suelen presentar una considerable variabilidad diaria durante la producción debido a la operación discontinua de los procesos de fabricación y al carácter intermitente de la mayoría de los procesos de limpieza. La carencia o exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) es un aspecto a considerar para el adecuado diseño y posterior operación del sistema de tratamiento pertinente. Además, en muchos subsectores se trabaja por campañas (conservas, almazaras, bodegas, azucareras, etc.) lo que produce vertidos estacionales de distintas características. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta cuando se diseña una instalación de depuración.

Aspectos generales de un sistema de tratamiento de depuración de aguas residuales

Con frecuencia, es necesario proceder a la corrección de las aguas residuales generadas antes de su vertido final a alcantarillado, colector o cauce público, con el ob-

jetivo de minimizar su impacto ambiental así como cumplir con la normativa vigente en materia de vertidos.

Varias operaciones y procesos unitarios son necesarios para tratar adecuadamente tales aguas residuales. En los documentos europeos de referencia sobre mejores técnicas disponibles en la industria alimentaria, de bebidas y láctea puede encontrarse información extensa sobre el tratamiento de aguas residuales para diversos subsectores. En general, según la tipología del agua residual, diferentes combinaciones de varios procesos unitarios conformarán el sistema de depuración concreto para una instalación específica. Así, un sistema de depuración puede presentar las siguientes etapas:

- Desbaste para la eliminación de sólidos gruesos presentes en el agua (rejas, tamices), evitar obturaciones en unidades de tratamiento posteriores y eliminar los efectos abrasivos sobre bombas y válvulas que se encuentran a lo largo del sistema posterior de tratamiento.
- Homogeneización para laminar el vertido y así evitar puntas de caudal y carga. La necesidad de esta etapa surge de la variabilidad de las características analíticas de los vertidos que surgen de la heterogeneidad de corrientes generadas por operaciones diversas efectuadas en una factoría. Además, un tanque de homogeneización también sirve de depósito de seguridad ante vertidos accidentales ocurridos en la industria, ya que evita la llegada de los mismos al punto final de vertido.
- Sistemas de neutralización donde se procede a la adición de ácidos y bases para neutralizar vertidos con pHs extremos. Cuando en una misma instalación se producen vertidos ácidos y básicos es conveniente promover la mezcla de ambos para evitar costes de reactivos. Estos procesos de desbaste, homogeneización y neutralización se engloban en una primera etapa de tratamientos llama-

“EN GENERAL COMBINACIONES DE VARIOS PROCESOS UNITARIOS CONFORMARÁN EL SISTEMA DE DEPURACIÓN PARA UNA INSTALACIÓN ESPECÍFICA”

da PRETRATAMIENTO.

- Etapa de TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO. Comprende unidades de separación de grasas y/o sólidos en suspensión y coloides. Existen básicamente dos tipos: flotación y decantación, normalmente ayudados por la adición de floculantes y coagulantes químicos. En algunos casos, tras el físico-químico, las aguas pueden tener la calidad suficiente para su vertido. Esta etapa genera lodos que requieren una línea de deshidratación y su gestión por un gestor de residuos. Según la naturaleza de las aguas pretratadas, esta etapa puede eliminarse y pasar directamente a un tratamiento biológico.

- Etapa de TRATAMIENTO BIOLÓGICO. Consiste en el mantenimiento de un cultivo biológico que emplea la materia orgánica disuelta biodegradable para generar nuevas células. Los tratamientos biológicos constan de dos unidades distintas: reactores biológicos y unidades de clarificación final. Existe una gran diversidad de tecnologías de tratamiento biológico que pueden ser anaerobios y aerobios según la vía de degradación del sustrato orgánico. El cultivo biológico puede mantenerse en suspensión o adherido a un soporte. La clarificación final puede hacerse por decantación, flotación o membranas. El flujo puede ser continuo o discontinuo. Habitualmente debe recircularse la biomasa hacia el reactor y purgarse solamente el exceso de lodo activo generado. En los sistemas aerobios, los más empleados habitualmente, debe asegurarse una adecuada aireación de los reactores para permitir los procesos metabólicos de degradación de la materia orgánica y generación de material celular nuevo.

- Línea de LODOS. Las unidades de decantación y/o flotación que puede presentar un sistema de depuración determinado, generan una cierta cantidad de sólidos, llamados fangos o lodos, que necesitan de un tratamiento específico para reducir su volumen, peso y características

antes de ser gestionados. Los tratamientos de lodos presentan distintas unidades: unidades de espesado, de estabilización del fango y de deshidratación.

Descripción de la tecnología Moving Bed Biological Reactor (MBBR)

El MBBR fue desarrollado por la Universidad de Ciencia y Tecnología de Noruega a finales de los años 80. La primera planta industrial de tratamiento MBBR fue construida en 1989, expandiéndose en los años posteriores por toda Europa y a nivel mundial, construyéndose la primera en Estados Unidos en 1995. Actualmente se han construido más de 600 plantas en todo el mundo entre el ámbito municipal e industrial, contando SITRA con referencias en distintos sectores.

Consiste en el desarrollo de un proceso aerobio de biopelícula por medio de un biofilm producido sobre un medio soporte (carrier) para degradar aeróbicamente la materia orgánica disuelta biodegradable presente en las aguas residuales.



Figura 1. Detalle de un carrier con biomasa

Esta tecnología contempla un reactor biológico lleno de soportes flotantes de la biomasa o carriers, un tamiz o malla para evitar el lavado de carriers y una



Figura 2. Aspecto interior de un reactor de tipo MBBR

red de aireación. Tras ello se procede a la clarificación final mediante decantador o flotador.

La tecnología MBBR emplea un volumen de “biofilm carriers” operando en mezcla completa dentro de la balsa de aireación. La biomasa activa en un reactor MBBR se compone de biomasa en suspensión y biomasa adherida a los carriers.



Figura 3. Mezclado inicial de carriers en un reactor

El alto desarrollo superficial de los carriers proporciona una gran superficie para el crecimiento de bacterias en forma de biofilm. Cada carrier individualmente incrementa el rendimiento de degradación de materia orgánica proporcionando una superficie protegida que permite el crecimiento de bacterias heterótrofas y autótrofas. La alta población de bacterias permite altos ratios de degradación del sistema. Por ello, los sistemas MBBR pueden ser operados a mayores cargas orgánicas que los sistemas de fangos activados, con menores tiempos de retención hidráulica y mostrándose menos sensibles frente a posibles sobrecargas hidráulicas.

Pueden aplicarse diferentes configuraciones para resolver distintos escenarios de carga, variabilidad, objetivos de calidad del efluente y necesidad de nitrificación-desnitrificación (Figura 4).

“EL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO COMPRENDE UNIDADES DE SEPARACIÓN DE GRASAS Y/O SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y COLOIDES”

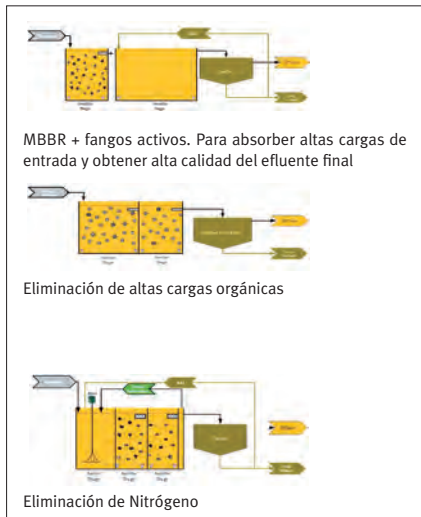


Figura 4. Ejemplos de configuraciones

Aspectos innovadores y ventajas respecto a sistemas convencionales

La tecnología MBBR presenta una serie de aspectos innovadores y ventajas respecto a los sistemas tradicionales de fangos activos:

- La tecnología MBBR está especialmente indicada para vertidos industriales con alta carga y vertidos estacionales o variables (conservas, bodegueras, etc.)
- El proceso es más estable que el convencional de fangos activados frente a variaciones de carga y episodios de toxicidad: Recuperación rápida de los parámetros de salida tras puntas o vertidos accidentales.
- Escasa complejidad. Los procesos de degradación se producen fundamentalmente, en la biomasa adherida.
- Requiere menor espacio que un convencional equivalente (en torno a 1/3).
- No se requiere recirculación de lodos al reactor MBBR desde la clarificación
- Genera menos fango en exceso. Reducción de la generación de fangos hasta un 30%.
- Sin problemas de bulking.
- La tecnología es especialmente útil para la ampliación de tratamientos biológicos ya existentes sin apenas obra civil para afrontar incrementos de carga o eliminar Nitrógeno.

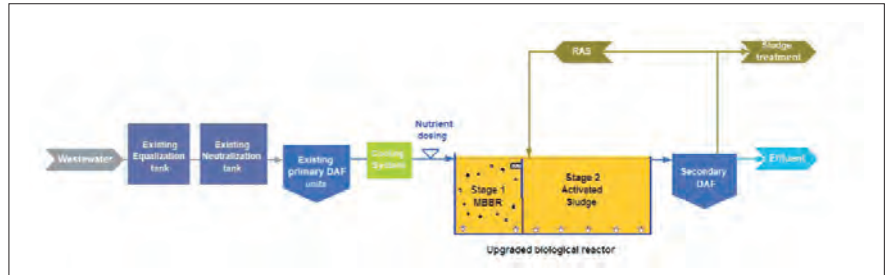


Figura 5. Esquema conceptual de la EDAR según MBBR + F. Activos



Figura 5. Vista de los reactores

- Permite arranques graduales y ampliación simple de la capacidad de tratamiento de la planta.

Sistema MBBR en una fábrica de refinado y extracción de aceite

a continuación se recoge el caso de la implantación por parte de SITRA de la tecnología MBBR para ampliar la capacidad de tratamiento de la estación depuradora de aguas residuales en una fábrica de producción y refinado de aceites ve-

“LA TECNOLOGÍA MBBR ESTÁ ESPECIALMENTE INDICADA PARA VERTIDOS INDUSTRIALES CON ALTA CARGA Y/O ESTACIONALES O VARIABLES”

Parámetros de entrada		
Caudal diario	m ³ /d	450
DQO	mg/L	3.125
Carga	kg DQO/d	≤ 1.500

Tabla 1. Parámetros de diseño de la EDARI

Parámetros de salida		
DBO ₅	mg/L	≤ 25
DQO	mg/L	≤ 125
SS	mg/L	≤ 35

Tabla 2. Calidad del efluente

getales, llevada a cabo en el año 2012. La modificación permitió incrementar la capacidad de tratamiento y mejorar el rendimiento de depuración logrando una calidad final del efluente acorde a los límites a cauce público.

La planta consta de un tanque de ecualización existente de 238 m³, un tanque de neutralización de 7 m³, un sistema de enfriamiento, dosificación de nutrientes y un tratamiento biológico en 2 etapas: 1^a etapa: reactor MBBR para la reducción intensiva de DBO de 175 m³. 2^a etapa: reactor de fangos activados de tipo convencional para afino de 533 m³. Posteriormente un sistema de clarificación mediante un flotador DAF secundario proporciona una calidad final de elevada calidad, y permite la recirculación y purga de fangos. La planta cuenta también con una línea de deshidratación de lodos mediante centrífuga.

Las condiciones de entrada y calidad del efluente se exponen en las siguientes tablas (Tabla 1 y Tabla2).

Tras más de un año de operación la planta logra unos rendimientos de depuración excelentes y una calidad del vertido a las exigencias de vertido a cauce público.



Figura 7. Detalle del clarificado final en la salida del DAF

Conclusiones

Las aguas residuales de la industria alimentaria presentan unas problemáticas de carga orgánica y variabilidad que exigen el desarrollo de sistemas innovadores que resuelvan adecuadamente las particularidades del sector y permitan reajustes, ampliaciones y modificaciones acordes a los cambios que se producen a lo largo del tiempo en una factoría. Todo ello requiriendo el menor espacio posible, recurso poco disponible en toda empresa. Los sistemas MBBR, por su naturaleza, permiten abordar soluciones robustas que admiten alteraciones en carga y caudal en mayor medida que los sistemas convencionales, ocupando un menor espacio y generando una menor cantidad de lodos en exceso.

Constituyen una opción muy interesante

a la hora de plantear ampliaciones de la capacidad de EDARs existentes que, con el tiempo, se han quedado pequeñas para la carga entrante comportando pocas necesidades de obra para la ampliación.

Bibliografía

- Yang Qiqi, He Qiang and Husham T. Ibrahim. Review on Moving Bed Biofilm Processes. *Pakistan Journal of Nutrition* 11 (9): 804-811, 2012.
 - Borkar R.P., Gulhane M.L, and Kotangale A.J. M. Moving Bed Biofilm Reactor – A new perspective in wastewater treatment. *Journal of Science, Toxicology and Food Technology*. Volume 6, Issue 6 (Nov-Dec 2013), pp 15-21.
 - Joshua P. Boltz , William R. Leaf , James P. McQuarrie , Adrienne Menniti, and Glen T. Daigger. Overcoming Hydraulic Limitations of the Integrated Fixed-Film Activated Sludge and Moving Bed Biofilm Reactor Process. January 2012 • *Florida Water Resources Journal*, pp. 22-32
 - McQuarrie, J.P. and Boltz, J.P. Moving Bed Biofilm Reactor Technology: Process Applications, Design, and Performance. *Water Environment Research* 83(6), 560-575. (2011).
 - Monika Zzubrowska-Sudoł. Moving bed technology as an alternative solution for reducing bioreactor. *Environment Protection Engineering* Vol. 38 2012, pp15-22
- Reference document of BAT in the Food, Drink and Milk Industry. European Commission. (2006).