

INVESTIGACION PARA LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA ACEITUNERA Y DEL ACEITE EN PROCESOS DE CODIGESTION ANAEROBIA EN DIGESTORES EXISTENTES EN EDAR.

Los problemas de tratamiento de aguas residuales planteados en la industria del olivar, aceituna de mesa, con unas aguas complicadas por su alta carga orgánica, salinidad y pH elevado, y los sobrevenidos el sector de fabricación del aceite por la problemática creada por la nueva legislación de producción eléctrica que mantiene paralizada gran parte de las orujeras que obtienen energía a partir de sus residuos, nos hacen plantear una novedosa actuación que mejore los balances económicos de la Estación depuradora de aguas residuales urbanas y posibilite un tratamiento con costes asumibles por las empresas ligadas a la industria del olivar de su entorno cercano.

Atendiendo a las dos tipologías, tan diferentes, de residuos generados en la industria de la aceituna de mesa y la del aceite de oliva, se propone el estudio de alternativas diferentes para cada caso, aunque ambas con procesos de codigestión anaerobia en los digestores existentes de la EDAR, que será optimizada para poder asumir el exceso de carga y así vera mejorada sus cuentas de explotación.

Aceite de oliva:

Codigestión anaerobia de fangos de depuradora con los restos del centrifugado de su extracción, con aumento significativo de carga orgánica a tratar, biogás a producir y por tanto energía eléctrica a producir en el motor de cogeneración posterior, si la EDAR no tiene este equipo se procederá al diseño y los cálculos económicos de costes y amortizaciones correspondientes.

Debe considerarse el carácter estratégico de esta actuación de persistir el quebranto producido por la citada norma de generación eléctrica a las orujeras, o empresas que valorizan energéticamente el orujo y por tanto la necesidad de que las empresas publicas lo afronten como apoyo al tejido industrial de la provincia y la oportunidad económica para sus gestores.

Aceituna de mesa:

Codigestión anaerobia de fangos de depuradora con las aguas residuales de la industria de la aceituna, pretratadas (reja, desarenado mas desengrase) de forma que no se sobrepasen niveles tóxicos de pH, salinidad y cantidades de ion sodio en la alimentación mixta del digestor anaerobio. Estos niveles se determinarán experimentalmente en la primera fase de ensayos propuesta en este documento.

La viabilidad económica de este tratamiento vendrá definida por el abono del tratamiento de sus aguas residuales por la industria de la aceituna, mas que por el aumento de biogás producido y la energía extra conseguida, ya

que el volumen de aguas a tratar está limitado por pH y salinidad, como se ya se ha explicado, además las aguas no están tan cargadas de materia orgánica como en el caso anterior.

Como en el caso anterior, también es un sector estratégico en la provincia de Sevilla, con problemas importantes de tratamiento de aguas que pueden ser abordados en mejores condiciones en la EDAR grande comunitaria, que en las pequeñas depuradoras que deben construir casi todas las empresas del sector, en una reconversión dura, urgente y difícil.

ESTUDIO BASADO EN EL MODELO TAR PARA EL DISEÑO DE REACTORES BIOLÓGICOS PARA TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.

El MODELO TAR, basado en el comportamiento de los organismos vivos, se ha desarrollado para calcular coeficientes de diseño y márgenes de operación en la explotación de los procesos de tratamiento de aguas residuales y nos permite optimizar en este caso el diseño de la codigestión de fangos mixtos y residuos líquidos de la industria de la aceituna en los digestores anaerobios de la EDAR.

El modelo recoge la experiencia en depuración biológica del grupo TAR en los últimos treinta años y ofrece posibilidades de optimización de procesos y ensayo de nuevas alternativas de tratamiento y aprovechamiento de residuos. Se estudia el comportamiento de la biomasa frente a cambios de las variables fundamentales, llevadas a condiciones extremas, para conocer el rendimiento y los márgenes de seguridad en las operaciones que deben adoptarse para el diseño posterior.

Un proceso biológico viable, que no tenga problemas de inhibición por diferentes causas, colapsa bien por exceso hidráulico, caudal crítico, o por exceso nutricional, carga orgánica crítica. Debemos calcular estos puntos y después definir los márgenes de seguridad necesarios para que esto no ocurra en ningún caso, así tenemos los caudales y/o cargas orgánicas de operación, o diseño. A partir de aquí se calculan los volúmenes de reactor, caudales y cargas máximos a tratar, etc.

DISEÑO DE REACTORES BIOLÓGICOS ANAEROBIOS DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE FANGOS DE DEPURADORA CON RESIDUOS LÍQUIDOS DE ALTA CARGA ORGÁNICA Y POTENCIALMENTE TÓXICOS MEDIANTE EL MÉTODO TAR.

En la aplicación del método de diseño TAR vamos a partir de tres condiciones de partida para el desarrollo del diseño experimental:

CONDICIÓN UNA Y BÁSICA:

La biomasa bacteriana es capaz de adaptación a diferentes alimentaciones, pero cuanto mas diferentes sean con la original del cultivo inicial, mas cuidadoso debe ser el proceso de adaptación. No debe olvidarse la posibilidad de que haya compuestos inhibidores en la nueva alimentación que retarden, o hagan imposible, el proceso.

Por ello antes de cualquier ensayo, se debe propiciar y estudiar la adaptabilidad de la biomasa a la alimentación propuesta.

Tarea 1 Proyecto : *Ensayos de adaptabilidad de la biomasa inicial del digester anaerobio de la EDAR a la alimentación mezcla de fangos y residuos líquidos de la industria de la aceituna.*

Se harán los cultivos en digestores de laboratorio, que irán cambiando de alimentación a diferentes ritmos, buscándose la adaptación mas rápida y segura, que de lugar a un protocolo de adaptación en los digestores de la EDAR con los menores costes de operación.

Actuación Propuesta 1:

La gran toxicidad de las aguas de la industria aceitunera debe ser diluida en el digester de fangos de la EDAR para posibilitar el arranque de los procesos anaerobios. Para ello se determinará experimentalmente el máximo volumen diario a tratar en codigestión para que el proceso sea viable.

CONDICIÓN SEGUNDA:

Para que un reactor biológico, con biomasa adaptada a la alimentación, sea viable, debe mantener un mínimo de población de la misma en su interior. Los componentes que mueren más los que salen en el efluente deben ser compensados, al menos, por los que nacen en la unidad de tiempo evaluada.

Evaluando el % en depuración, tendremos una grafica de este tipo para calcular el % PUNTO CRÍTICO DEPURACIÓN.

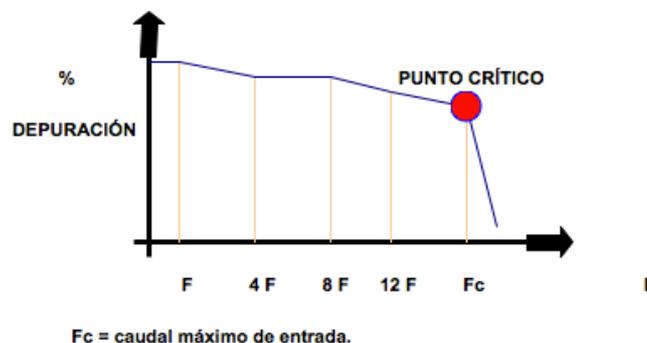


Figura 1: Punto crítico

El punto crítico es aquel en el que sale del sistema la mayor cantidad de biomasa con el efluente sin una pérdida significativa de eficacia en el reactor, lo que significa que se compensa por el mayor crecimiento de biomasa posible en las condiciones de trabajo del reactor.

Este punto no debe alcanzarse en ningún caso dentro de un reactor biológico, puesto que el lavado de bacterias acabará ocurriendo casi en todos los casos, por ello debe diseñarse la alimentación máxima posible con un margen de seguridad importante, con un caudal de diseño F menor al F crítico, (que es inverso al TIEMPO DE RETENCIÓN CRÍTICO DEL REACTOR).

Una primera forma a ensayar para conseguir mas biomasa en el reactor es recircular fangos desde un decantador/digestor secundario al primario.

CONDICIÓN 3:

A igualdad de otros factores, el rendimiento de un reactor depende de su volumen "útil" (o utilizado realmente en los procesos) y del grado de contacto de la biomasa existente con la materia orgánica del agua residual. Para mejorar los rendimientos debe incrementarse dicho contacto, bien agitando el agua residual, o estimulando la biomasa existente.

Deben conseguirse reactores que permitan mayores cantidades de efluente de entrada, F , con poca pérdida de biomasa, "bio" en el efluente (condición 2) y a la vez mantener la agitación del digestor que permite incrementar el volumen útil del reactor y el contacto bio/alimentación para conseguir mayores rendimientos en la depuración (condición 3).

Todo debe hacerse con el menor coste (condición universal) de transformación de los digestores existentes para que puedan tratar el mayor volumen obtenido de la suma de los fangos tratados habitualmente mas la adición de residuos líquidos muy cargados de materia orgánica, sin que se inestabilicen los procesos.

Tarea 2: *Ensayo en planta piloto de modificaciones en el sistema que disminuyan las pérdidas de biomasa en los digestores sin afectar a las demás variables de proceso.*

- *Considerando que el deposito/decantador de fangos posterior al digestor anaerobio existente en la EDAR esta conectado para la posible recirculación de fangos al mismo, pero no esta en uso de forma continua, solo se usa para operaciones puntuales:*
- *Se ensayará la utilización permanente de la recirculación de fangos desde el deposito/decantador al digestor, para conseguir que salgan menores cantidades de biomasa del sistema y posibilitar que se puedan tratar diariamente mayores volúmenes en codigestion. Así el digestor*

más depósito posterior se convertirán en Digestor primario más secundario.

- *Con los nuevos caudales de entrada de alimentación (fangos mixtos mas residuo añadido) y los nuevos tiempos de residencia hidráulicos de operación conseguidos con la recirculación de fangos, se evaluara el máximo volumen de residuos líquidos que se puedan adicionar para la codigestion.*

Condición 4: las cargas orgánicas máximas dependen de la biomasa bacteriana presente en el digestor y de su capacidad de metabolizar la alimentación de entrada. Esta variable define la cantidad máxima que puede adicionarse de residuo orgánico para codigestión.

BALANCES DE MASA EN LOS REACTORES BIOLÓGICOS:

El crecimiento de la biomasa en un cultivo viable es proporcional a la transformación de materia orgánica, por ello pueden establecerse los siguientes balances de masa en los reactores biológicos.

- MATERIA ORGÁNICA CONSUMIDA:

La materia orgánica que entra en el reactor, es igual a la que sale del mismo más la que se consume por la biomasa.

- BIOMASA GENERADA:

La materia orgánica de entrada es igual a la que sale, más la que se transforma en biomasa.

El incremento de la concentración de biomasa en la unidad de tiempo es el CRECIMIENTO, μ , y en procesos anaerobios es inverso al tiempo de retención hidráulico del sistema. Por ello si se quiere determinar el crecimiento máximo de biomasa, se estudiará en el punto crítico:

Crecimiento máximo = cantidad de biomasa que se va en el efluente de salida
más la cantidad de biomasa que muere en el punto critico.

El crecimiento máximo permite realizar cálculos analíticos específicos para cada tipo de reactor y proceso.

K = Constante del crecimiento del proceso.

-BIOGAS GENERADO:

El biogás generado es proporcional a la cantidad de materia organica degradada, por ello aumentando esta se consiguen mejores rendimientos en el mismo.

Su conversión posterior en energía eléctrica y calorífica en la cogeneración mejora los balances económicos de la EDAR y permite "Recuperar recursos de los residuos" y limitar los costes de los tratamientos de los fangos y los residuos codigeridos.

Diseño del REACTOR BIOLÓGICO basado en cargas críticas:

El proceso biológico entendido como un ser vivo, con diferentes poblaciones (de forma similar, en concepto, a lo que ocurre en el cuerpo humano) se comporta como una “biomasa” única, que se desequilibra y se descompensa en sus funciones por efecto de una sobrecarga de:

1. ALIMENTACIÓN, kg saturación NUTRICIONAL.
2. LÍQUIDO, caudal crítico: SATURACIÓN HIDRÁULICA.

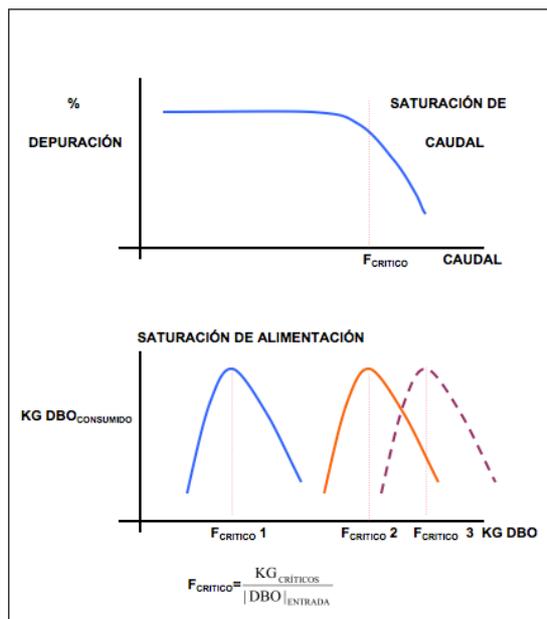


FIGURA 2: Comparación de ambas gráficas

En nuestro caso de codigestion anaerobia, se buscan residuos líquidos de alta carga orgánica, por ello la saturación será nutricional, o de carga crítica, en todos los casos, lo contrario sería gastar digestor para conseguir poco aumento de biogas.

Por ello, para conocer el parámetro de carga orgánica máxima de operación (carga crítica minorada por un porcentaje de seguridad), debemos estudiar el comportamiento del digestor llevado al límite de estabilidad aumentando gradualmente la cantidad de materia orgánica hasta llegar a un máximo, donde el consumo de la materia orgánica por la biomasa, estará limitada por la cantidad de la misma que pueda colonizar el reactor en condiciones de rendimiento optimo.

A partir de aquí el volumen del reactor empezará a ser el factor limitante y la eficiencia en depuración ira disminuyendo con los aumentos de carga sucesivos.

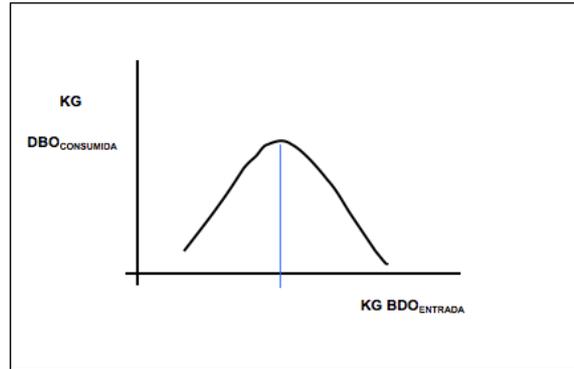


FIGURA 3: Curva de la concentración máxima

Tomando una serie de datos simulados, en eliminación de DBO, puede verse gráficamente el punto crítico.

Kg DBO _E	Kg DBO _{CONS.}	(Kg DBO _{CON} / Kg DBO _E) 100 PRODUCTIVIDAD
10	9	90%
20	17	85%
30	24	80%
40	30	75%
50	35	70%
60	39	65%
70	42	60%
80	44	55%
90	45	50%
100	46	46% PUNTO CRÍTICO
110	44	40%
120	42	35%

Este volumen calculado experimentalmente será diferente del que se determinaría, si el caudal crítico del sistema fuera la variable que inestabilice el sistema.

Tarea 3: *Calculo de la carga orgánica máxima admisible en el reactor optimizado con la biomasa adaptada a la codigestion de fangos/residuos líquidos con alta carga orgánica.*

Con el reactor ensayado en la tarea 2 en la optimización del caudal a tratar, se procede a determinar producción de biogas diaria frente a mayores cargas orgánicas de entrada cada vez, hasta encontrar el punto critico, a partir del cual se calcula el de punto de operación.

Tarea 4: *Diseño, con la colaboración del personal de planta, del protocolo de actuación sobre los digestores agitados de la EDAR que permita su optimización frente al aumento de volumen y carga de entrada determinado en las tareas anteriores.*

Condición 5: El aumento de volumen de alimentación de entrada debido a la codigestión de residuos sólidos añadidos no debe sobrepasar la capacidad del reactor optimizado previamente, aunque la biomasa adaptada fuera capaz de metabolizar cantidades mayores de residuo a codigerir.

Condición 6: la producción total de energía obtenida en la cogeneración del biogas “extra” obtenido por la adición de residuos líquidos de alta carga, no debe superar la necesaria para compensar el déficit energético actual de la EDAR debido a la normativa existente en cuanto a la posibilidad de gestionar excedentes de energía eléctrica en las instalaciones industriales.

Para ello tomamos el balance de producción de biogas en una EDAR tipo, (Estévez, F. 2013):

- La EDAR objeto de estudio opera con un caudal medio de 135.000 m³/d. Energía importada de la red eléctrica en el año 2011: 15.626 kWh/d. Este es el incremento de producción deseado para la autosuficiencia energética.
- Producción energética de los motores: 2 kWh/Nm³ gas. Por tanto, necesidades adicionales de gas: 7.813 Nm³/d.
- Comprobada la presencia de metano en un 65% en el gas de digestión, son necesarios entonces, 5.079 Nm³/d de CH₄ adicionales.
- Para determinar el ratio de producción de metano por kg de DQO, se parte de las estimaciones tomadas de la degradación de la glucosa obteniéndose finalmente 0,35 Nm³ CH₄/kg DQO eliminada. Siendo por tanto necesarios 14.510 kg DQO/d adicionales al día para ser tratados en un digestor de 29.000 m³.

Posteriormente se adaptará el balance energético y de producción de biogás a la planta donde se realice la Codigestión anaerobia.

Tarea 5: *Ensayo en planta piloto 2 de 50 L de volumen del digestor primario, para evaluar factores de operación a escala con mayor eficacia, optimización de alimentación del reactor, manejo de bombas y tuberías. Convalidación de resultados de las tareas anteriores en cuanto a la recirculación de fangos desde el digestor secundario al primario y rendimientos en producción de biogas.*

Tarea 6: *Elaboración del protocolo de actuaciones necesarias para la codigestión de fangos con residuos líquidos de alta carga orgánica en la EDAR.*

Las tareas 1 a 6 se realizarán en un plazo acordado previamente, las tareas sucesivas se llevarán a cabo de acuerdo a los plazos determinados por la adaptación de la biomasa a escala real y la propiedad de la EDAR que

tendrá que aplicar las modificaciones propuestas en el estudio para la optimización de los digestores anaerobios.

Tarea 7: *Aplicación en la EDAR, conjuntamente con la dirección de la misma, del protocolo anterior, para la optimización del digestor anaerobio de agitación actual para convertirlo en Digestor anaerobio con recirculación de fangos y de la adaptación de la biomasa bacteriana a escala real.*

Tarea 8: *Aprovechamiento del aumento de la energía térmica producida por la mayor cantidad de biogas para la cogeneración. Estudio de sus posibles aplicaciones en la EDAR.*

Cálculo de la cantidad de calor necesario para trabajar en los digestores en rango termófilos, 50-55 °C, para optimizar los procesos de digestión anaerobia, comparación con la energía calorífica producida y verificación de la posibilidad física de actuación. Si existe déficit, se calculará la energía eléctrica necesaria para compensarlo y se evaluará si el mayor rendimiento obtenible en el proceso termófilo puede generarla, para proceder al ensayo correspondiente.

Tarea 9: *Ensayo en piloto 1, 5 L, de digestión anaerobia termófila de la mezcla óptima de fangos mixtos más residuos líquidos de alta carga, para determinar parámetros de control y rendimientos máximos posibles en las condiciones de operación en la EDAR.*

Condición 7: La mayor producción de sólidos esperable en la salida del proceso de digestión anaerobia de los fangos mixtos más residuos líquidos de alta carga debe ser posible de gestionarse en el tratamiento de fangos existentes en la EDAR o en todo caso proveer su tratamiento y valorar los costes añadidos.

Condición 8: La cantidad de agua excedente del centrifugado debe ser devuelta a la EDAR. Para ello debe buscarse el mejor punto de conexión, se propone estudiarlo en la recirculación de fangos en la cuba de aireación existente, de modo que el mayor volumen de tratamiento se compense con la mayor actividad de los fangos aerobios más anaerobios presentes en el agua de retorno (Lebrato y col. 1993).

Esta conexión de las aguas de retorno de tratamiento de fangos en la recirculación de la cuba de aireación, puede permitir tratar mayores cantidades de la misma y por tanto desecar más los mismos hasta porcentajes de 25% o superiores, con un abaratamiento posible en su manejo posterior. Al ser una propuesta novedosa debe ensayarse adecuadamente.

Tarea 10: *en el reactor anaerobio piloto 1, de 5l, más cuba de aireación con decantador posterior de 7 l, de forma que se evalúen las mejoras y posibilidades de tratamiento de las aguas de retorno del centrifugado de fangos.*

Tarea 11: *Diseño del protocolo de conexión de aguas de retorno de tratamiento de fangos en la recirculación de fangos de la cuba de aireación en la EDAR y aplicación conjunta con el personal de la misma.*

Una vez verificada la viabilidad del proceso en la EDAR se planteará las siguientes tareas enumeradas anteriormente desde la 7 a la 11, durante el resto del año de contrato, de forma que al final del mismo la EDAR esté preparada para soportar el extra de trabajo introducido por la adición de cantidades importantes de residuos de alta carga orgánica.

Condiciones de contrato propuestas por la EIA para el estudio individual de uno de los residuos:

Primera fase:

1.- El plazo de ejecución de esta primera fase será de un mes previo de preparación de la ingeniería necesaria a escala laboratorio y piloto mas tres meses, 90 días, a partir de la firma del acuerdo.

La EIA se obliga a ensayar los 6 pasos de la propuesta de actuaciones de acuerdo a la temporización expuesta, siempre y cuando el primero, la adaptación de la biomasa, sea viable. En caso negativo, el estudio y el contrato finalizará en esta primera fase, sin que sea de aplicación el resto de programación y consecuentemente se abonarán tan solo los costes correspondientes.

2.- El trabajo se realizara en las instalaciones de la EIA en los Campos Experimentales de Blanco White (Sevilla), que están dotados de los medios necesarios para su buen fin.

3.- El cliente asume en este contrato:

- Una partida económica inicial de 6.000 euros sin IVA, para dotación de equipos de ingeniería y de control de procesos para el pilotaje correspondiente en los laboratorios existentes en los Campos Experimentales de Blanco White.
- Una cantidad mensual de 4.000 euros, sin IVA, durante la duración del mismo.

La EIA pondrá en la dirección de los trabajos a dos doctores expertos en digestión anaerobia de aguas residuales y residuos organicos y en diseño y gestión de EDARS en la dirección del trabajo, Laura Pozo Morales y Julián Lebrato Martínez, además asignara a un técnico licenciado en ingeniería química, Alexander Lizárraga, con dedicación completa al mismo.

El contrato tendrá una duración minima de una año a partir de la firma, siempre y cuando se verifique la viabilidad de los proceso en la llamada FASE UNO a los cuatro meses a partir de la firma y, en su caso, se renovará por otro año mas por acuerdo escrito de ambas partes.

La EIA entregará al cliente el primer informe de viabilidad de codigestion de fangos mixtos mas residuos líquidos con alta carga, FASE UNO, a los cuatro meses de la firma y a partir de este informe entregará otros mas al octavo mes y al final del año contratado. En estos informes la EIA entregará los

correspondientes protocolos de mejora del mantenimiento de la EDAR ligados a la codigestion de fangos mixtos y residuos líquidos y/o los procesos que se vayan optimizando en cada caso.

4.- En el caso de que se quieran estudiar los dos tipos de residuos en este contrato, el de la industria del aceite y el de la industria de la aceituna, se decidirá por el cliente con cual de ellos se trabaja primero en su correspondiente fase uno, y una vez acabado el estudio, se realizará, en los siguientes cuatro meses el del otro residuo. El contrato tendrá correspondientemente mas duración y deberá ajustarse en sus detalles, según las necesidades del cliente y las posibilidades de la EIA.

Propuesta de contrato realizada en Sevilla, Abril de 2014.