



**EOI** Escuela de  
organización  
industrial

## **MASTER PROFESIONAL EN INGENIERÍA Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL 2010-2011**

### **INTRODUCCIÓN DE MEJORAS EN EL PROCESO DE ADEREZO DE ACEITUNAS**

**Joaquín Montes**

## ÍNDICE

- 0- RESEÑAS HISTÓRICAS
  
- 1- OBJETIVOS
  
- 2- FUTURIBLE UBICACIÓN DE IMPLANTACIÓN
  
- 3- DESTINO DE LA IMPLANTACIÓN
  - 3.1-La industria de aderezo de aceituna de mesa
    - Generalidades.
    - El proceso de aderezo.
  - 3.2-Vertidos. Problemática del tratamiento del agua residual de aceitunera en Andalucía.
  
- 4- ALTERNATIVA ADOPTADA.
  - 4.1-Propuesta para el tratamiento.
    - Digestión anaerobia y evaporación.
      - Descripción a varios niveles.
      - Control del proceso.
      - Tipos de digestores.
      - Funcionamiento y mantenimiento.
  - 4.2-Prototipo de laboratorio.
    - Descripción y arranque del digestor.
    - Experiencia y resultados.
    - Conclusiones.

4.3- Aplicación industrial. Descripción del conjunto.

- Diagrama de proceso.
- Digestor-Decantador.
- Sistema de calefacción.
- Circuito de gas. Agitación.
- Tuberías, bombas, válvulas.
- Instrumentación.
- Automatización.

5- BIBLIOGRAFÍA.

## 0- RESEÑAS HISTÓRICAS

### MEMORIA

La aceituna de mesa

#### Introducción.

La siguiente propuesta tiene como objeto la introducción de mejoras en el proceso de aderezo de aceitunas para obtener una reducción de aguas a tratar así como para el tratamiento de las aguas residuales generadas durante el proceso.

El vertido incontrolado de este efluente, viene siendo un problema medio ambiental serio en Andalucía, debido al alto poder contaminante que tiene por la elevada carga de materia orgánica, sólidos disueltos y lejías alcalinas.

La presente propuesta tiene como fin aportar y conjugar alternativas de reutilización de lejías y reducción de lavados junto con propuesta de depuración de las aguas a tratar con objeto de resolver dichos problemas medio ambientales que se originan actualmente en el entorno de los puntos de vertidos y en las zonas aguas abajo de los mismos, por causa del vertido directo de la industria del aderezo de la aceituna.

#### Orígenes históricos

Los orígenes del olivo se remontan muy atrás en el historia. La primera referencia escrita sobre esta planta se encuentra recogida en el Libro del Génesis. En sus orígenes, su cultivo se extendía por toda la zona mediterránea y, zonas limítrofes, abarcando Europa, África, Asia Menor e incluso India.

El origen del olivo se pierde en el tiempo, que coincide y se mezcla con la expansión de las civilizaciones mediterráneas que durante siglos gobernaron el destino de la humanidad y dejaron su huella en la cultura occidental.

Fósiles de hoja de olivo se han encontrado en los depósitos del Plioceno en

Mongardino en Italia. Más restos fosilizados se han descubierto en los estratos desde el paleolítico superior en el criadero de caracoles Relilai en el norte de África, y piezas de acebuches han sido descubiertas en las excavaciones del período Calcolítico y la Edad del Bronce en España. La existencia del olivo por lo tanto, se remonta al duodécimo milenio antes de Cristo.

El olivo silvestre es originario de Asia Menor, donde es muy abundante y crece en bosques espesos. Parece que se han extendido desde Siria a Grecia a través de Anatolia (De Candolle, 1883), aunque otras hipótesis apuntan al Bajo Egipto, Nubia, Etiopía, la cordillera del Atlas o determinadas zonas de Europa como su área de origen. Por eso Caruso, que cree que es autóctono de la cuenca mediterránea y Asia Menor, considera que ha sido la cuna del olivo cultivado hace unos seis mil años atrás. Los asirios y los babilonios fueron las únicas civilizaciones antiguas en el área que no estaban familiarizadas con el olivo.

Tomando el área que se extiende desde el sur del Cáucaso a la meseta iraní y las costas mediterráneas de Siria y Palestina (Acerbo) para ser el hogar original del olivo, su cultivo se desarrolló considerablemente en estas últimas dos regiones, se extiende desde allí a la isla de Chipre y de Anatolia hacia la isla de Creta y Egipto.

En el siglo XVI a.c. los fenicios iniciaron la difusión de la aceituna a lo largo de las islas griegas, después de la introducción en la península griega entre los siglos 14 y 12 antes de Cristo, donde su cultivo ganó gran importancia en el siglo IV a.c., cuando Solón dictó decretos que regulaban la plantación de olivos .

A partir del siglo sexto antes de Cristo, la propagación del olivo a lo largo de los países del Mediterráneo llegó hasta Trípoli, Túnez y la isla de Sicilia. A partir de ahí, se trasladó al sur de Italia. Presto, sin embargo, sostuvo que el olivo en Italia se remonta a tres siglos antes de la caída de Troya (1200 a.C.). Otro cronista romano (Penestrello) defiende la opinión tradicional de que el primer olivo fue traído a Italia durante el reinado de Lucio Tarquinio Prisco el

Viejo (616 a 578 a.C.), posiblemente de Trípoli o Gabes (Túnez). El cultivo se movió hacia arriba, de sur a norte, desde Calabria a Liguria. Cuando los romanos llegaron al norte de África, los bereberes sabían cómo injertar acebuches y habían desarrollado realmente su cultivo en todos los territorios que ocupaban.

Los romanos continuaron la expansión del olivo a los países ribereños del Mediterráneo, utilizando como arma pacífica en sus conquistas para liquidar a la gente. Fue introducido en Marsella alrededor del 600 a.C. y se extendió de allí a toda la Galia. El olivo hizo su aparición en Cerdeña en la época romana, mientras que en Córcega se dice que han sido llevados por los genoveses después de la caída del Imperio Romano.

El cultivo del olivo fue introducido en España durante la dominación marítima de los fenicios (1050 a.C.), pero no se desarrolló en un grado notable, hasta la llegada de Escipión (212 a.C.) y el dominio romano (45 a.C.). Después de la tercera Guerra Púnica, el cultivo del olivo ocupaba una gran extensión del valle de la Bética y se extendió hacia las zonas costeras del centro y del Mediterráneo de la Península Ibérica, incluyendo Portugal. Los árabes trajeron a sus variedades con ellos para el sur de España e influyeron en la expansión del cultivo de tal manera que las palabras en español de oliva (aceituna), aceite (Aceite), y el olivo silvestre (acebuche) y las palabras en portugués de oliva (Azeitona ) y aceite de oliva (Azeite), tiene raíces árabes.

Con el descubrimiento de América (1492), se extendió el cultivo del olivo más allá de sus confines del Mediterráneo. Los primeros olivos fueron llevados desde Sevilla a las Indias Occidentales y más tarde al continente americano. En 1560 se cultivaban olivos en México, luego en Perú, California, Chile y Argentina, donde una de las plantas traídas durante la Conquista - el viejo olivo Arauco - vive hoy en día.

En tiempos más modernos del olivo se ha esparcido fuera del Mediterráneo y en la actualidad se cultiva en lugares tan alejados de sus orígenes como el sur de África, Australia, Japón y China. Como dijo Duhamel: "los extremos del

Mediterráneo, donde el olivo ya no crece", que puede ser limitado por decir que "allí donde los permisos de sol, y suelo para raíces, el olivo obtiene ganancias".

La expansión de su cultivo se aceleró gracias a los colonizadores españoles que lo propagaron por el Nuevo Continente. La aceituna, fruto del olivo se utilizó inicialmente para la extracción del aceite, también se conocen referencias, en el s. I de nuestra era, que nos indican su consumo como aceituna de mesa.

En la actualidad, han surgido por exigencias del mercado, nuevas variantes que junto a las tradicionales aceitunas aliñadas, amplían considerablemente la diversidad de la oferta; junto a estas nuevas variantes se han producido una serie de avances tecnológicos que obligatoriamente han de ser tenidos en cuenta.

Concretamente en España, el proceso de elaboración de la aceituna de mesa, es el resultado de la combinación de la tradición y la moderna tecnología disponible.

En la industria del aderezo todo está controlado: calidad, selección, esmerada elaboración... Sólo las elaboraciones impecables saldrán de la línea de producción para el mercado. Las aportaciones de los investigadores y de los técnicos han dado como resultado un sector tecnológicamente avanzado, en constante evolución, capaz de ofrecer un producto de la máxima calidad apreciado en el mercado global en el que nos encontramos inmersos.

Para hacernos una idea de la posición del sector español a nivel mundial, comentar que España es el principal país productor y exportador de aceitunas de mesa, con un 25% y un 50%, respectivamente, del total mundial.

Datos Generales del Sector

Rasgos principales del sector de la aceituna de mesa

Superficie de olivar

Según datos del Consejo Oleícola Internacional (COI), el olivar mundial está constituido por unos 850 millones de árboles que ocupan una superficie de más de 10 millones de hectáreas. De éstas, más de un millón se dedica a la

## MPIGMA 2010-2011

producción de aceitunas de mesa. La producción total de aceitunas asciende a más de 18 millones de toneladas anuales, de las cuales el 90% se destinan a la producción de aceite y el 10% restante a la producción de aceituna de mesa.

Según la encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos de 2010 (ESYRCE), España cuenta con 2.572.793 hectáreas de olivar, de las que 123.479 (4,79%) se dedican a la aceituna de mesa. Éstas últimas se concentran principalmente en Andalucía y Extremadura, que cuentan con un 82,6% y un 16,55% del total respectivamente, es decir, más del 99% de estos cultivos se dan en estas dos comunidades.

### Producción

España es el primer país productor de aceitunas de mesa del mundo, seguido a mucha distancia de otros países de la cuenca mediterránea. La producción media mundial de las últimas cinco campañas asciende a 1.750.000 toneladas, de las cuales 526.000 se produjeron en España, es decir, un 30% del total. Otros países productores son Turquía, Egipto, Argentina, Siria, Grecia o Marruecos, entre otros.



Fuente: Comité Oleícola Internacional

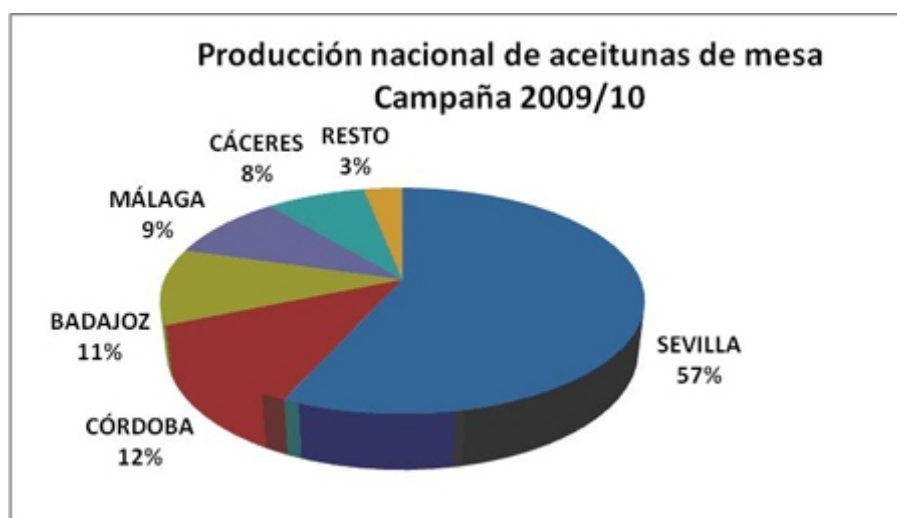
A nivel nacional, y atendiendo a los datos de la Agencia para el Aceite de Oliva (AAO), las producciones situadas en Andalucía alcanzaron un total de



### MPIGMA 2010-2011

481.124 toneladas, lo que supone el 80,50% de la producción nacional. En este sentido, Sevilla con 358.396, Córdoba con 68.363 y Málaga con 48.293 son las provincias con mayor producción.

Por su parte, las industrias ubicadas en Extremadura generaron 108.093 toneladas, lo que supone el 18,09% de la producción nacional, correspondiendo a la provincia de Badajoz 62.893 y a Cáceres 45.200.



Fuente: Agencia Aceite de Oliva

### NÚMERO DE INDUSTRIAS

Según datos de la AAO, en la campaña 2009/10 han sido 395 empresas las dedicadas al “entamado”. La distribución geográfica por comunidades autónomas es la que se muestra en el siguiente gráfico:



Fuente: Agencia Aceite de Oliva

Siguiendo con los datos de la AAO, en la campaña 2009/10 han sido 233 las empresas dedicadas al “envasado”. La distribución geográfica por comunidades autónomas es la que se muestra en el siguiente gráfico:



Fuente: Agencia Aceite de Oliva

## SECTOR RELEVANTE

El sector es de gran relevancia en el conjunto de la industria agroalimentaria nacional, tanto por el número de empleos que genera como por su volumen de

producción y exportación, liderando España el mercado mundial en ambos conceptos.

El sector crea un total de 8.000 empleos directos, más de seis millones de jornales por la recolección y el cultivo del olivo, a los que hay que añadir los originados por las empresas y fábricas auxiliares como las de vidrio, hojalata, cartonaje, maquinaria, transportes, etc. Esto supone el 27% del empleo generado por el sector nacional de conservas y preparados de productos vegetales, participando con un 22% en el valor nacional de este sector y aportando alrededor de 1.000 millones de euros.

#### Descripción del Sector

Se trata de un sector de gran relevancia para el conjunto de la industria agroalimentaria nacional, tanto por el número de empleos que genera, como por su volumen de producción, transformación, comercialización y exportación, actividades en las que España es líder mundial.

El sector de la aceituna de mesa genera más de 8.000 empleos directos, más seis millones de jornales por la recolección y el cultivo del olivo, a los que hay que añadir los originados por las empresas y fábricas auxiliares: vidrio, hojalata, cartonaje, maquinaria, logística, etc.

Siendo un sector integrado por compañías con gran tradición empresarial y que llevan realizando su labor desde hace muchos años, los socios de Asemesa son industrias que están en constante evolución y actualización.

La aceituna de mesa española es un símbolo de máxima calidad y buen hacer de las industrias, un producto español que lidera los mercados internacionales. Forma parte de la dieta mediterránea, sus usos van más allá del simple aperitivo y se presentan en tantos formatos y gustos como demanda el consumidor. Fuera del país, se ha ido creando a lo largo de los años, fruto del trabajo de las empresas exportadoras, una marca propia, Olives From Spain, que diferencia la aceituna de mesa de España de la de otros países competidores.

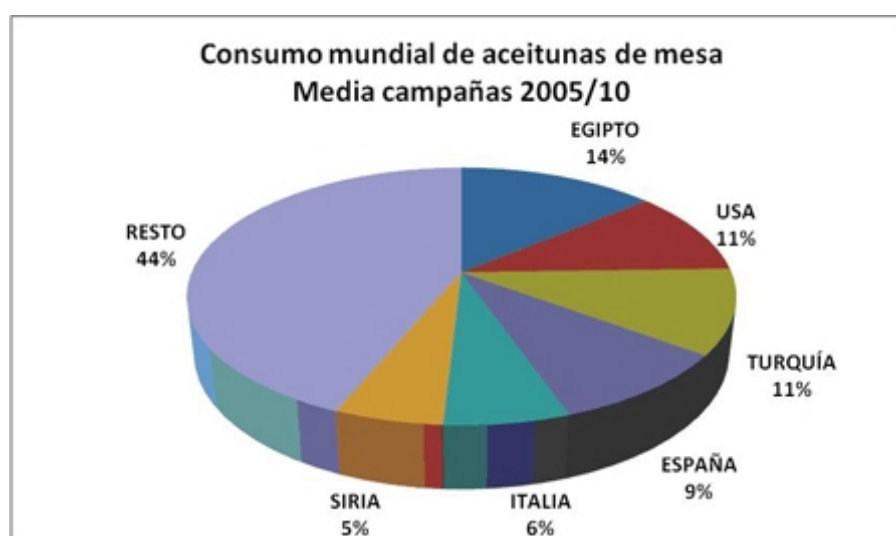
Para contrarrestar el intento de terceros países de aprovecharse del prestigio de

la aceituna de mesa española, Asemesa promovió en 2006 la puesta en marcha de un Plan Sectorial de Promoción junto con el Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX) y la Agencia Andaluza de Promoción Exterior (EXTENDA), siendo la primera vez que se alcanza en España un acuerdo de este tipo. En 2007, el Plan fue asumido por la nueva Organización Interprofesional de la Aceituna de Mesa (INTERACEITUNA), y en la actualidad dicho Plan contempla acciones de promoción en seis países: Australia, México, Rusia, Polonia, R. Checa y Ucrania. Paralelamente, Interaceituna lleva a cabo acciones de promoción propias en Reino Unido y Francia. El total de la inversión en promoción internacional promovida por la interprofesional asciende a 2 millones de euros anuales.

#### CONSUMO INTERNACIONAL

Según datos del COI (Consejo Oleícola Internacional), el consumo mundial de aceitunas de mesa se ha situado en la campaña 2009/10 en 2.136.500 toneladas. Por países, los mayores consumidores han sido Turquía (260.000 toneladas), Egipto (250.000 toneladas) y Estados Unidos (203.000 toneladas). España se sitúa en el cuarto lugar del ranking con un consumo de 183.600 toneladas.

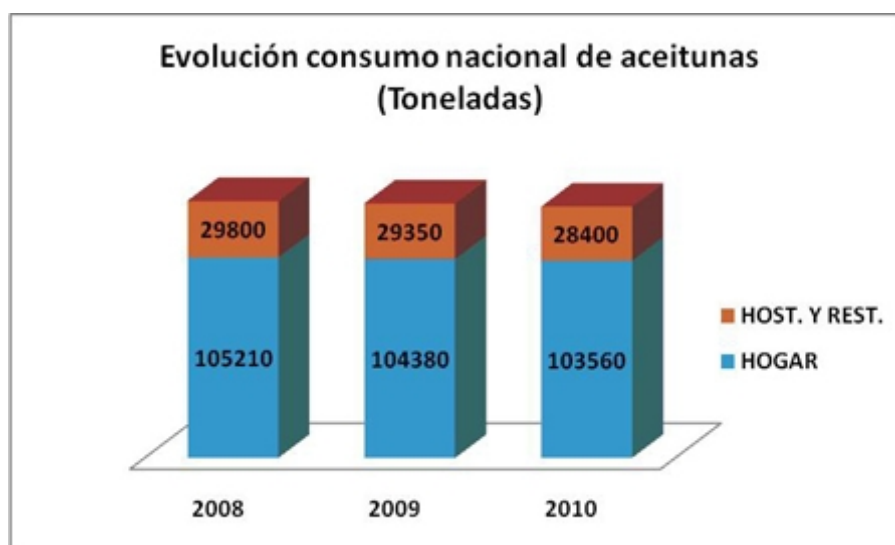
El consumo medio de las cinco últimas campañas, este asciende a 2.057.000 toneladas y se reparte por países según el siguiente gráfico:



## CONSUMO NACIONAL

Según el Panel de Consumo Alimentario del MARM, relativo al consumo nacional de aceitunas de mesa, en 2010 el consumo nacional descendió levemente alcanzando una cifra en torno a las 132.000 toneladas. El consumo de los hogares representó un 78.5% del total, mientras que el 21,5% restante corresponde al consumo de la hostelería y la restauración.

Por otro lado, observamos que, en España, tanto el consumo de los hogares como el consumo de la hostelería y la restauración siguen una senda de leve descenso desde el 2008, más concretamente, la variación con respecto al último año registra una caída cercana al 2%.



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino

En 2010 se han consumido aceitunas por un valor equivalente a 368 millones de euros, de los cuales 342,4 corresponde a los hogares y el resto a la hostelería y a la restauración. Estos datos suponen una caída con respecto al 2008 cercana al 1,5 %.

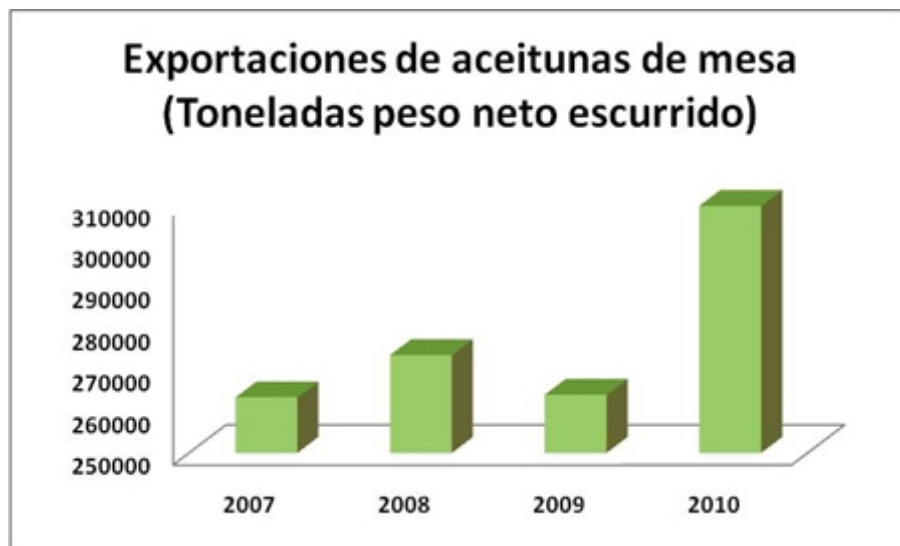
## Exportaciones

España es el primer país exportador de aceituna de mesa del mundo con gran

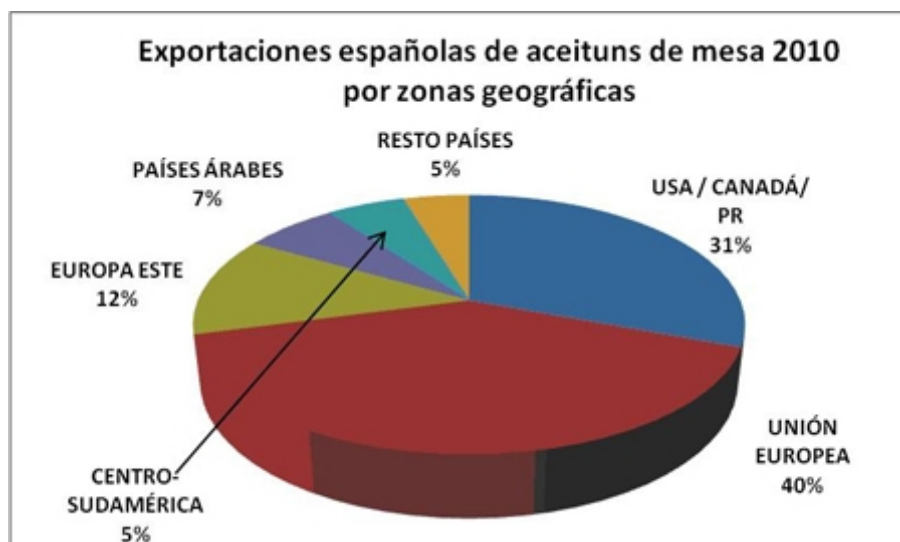
### MPIGMA 2010-2011

diferencia respecto a los siguientes. Según datos de ADUANAS, en el año 2010 las exportaciones de aceitunas de mesa de España, incluyendo los envíos a los países de la Unión Europea, alcanzaron la cifra de 309.709 TM (peso neto escurrido), cuyo valor asciende a unos 636 millones de euros. España es el principal exportador mundial con un 30% del comercio mundial de este producto, seguido por Egipto, Grecia y Argentina.

Como se aprecia en el gráfico, las exportaciones españolas en el año 2010 han experimentado un crecimiento del 17% respecto al año 2009.

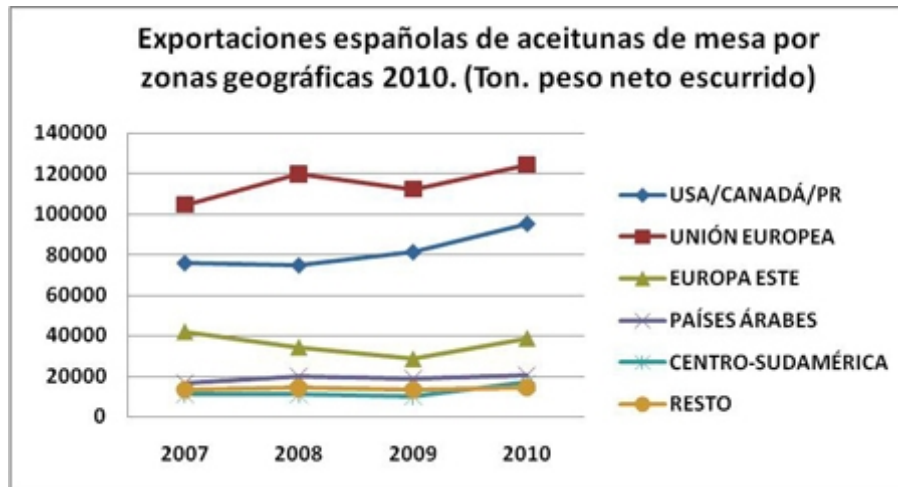


Fuente: D.G Aduanas



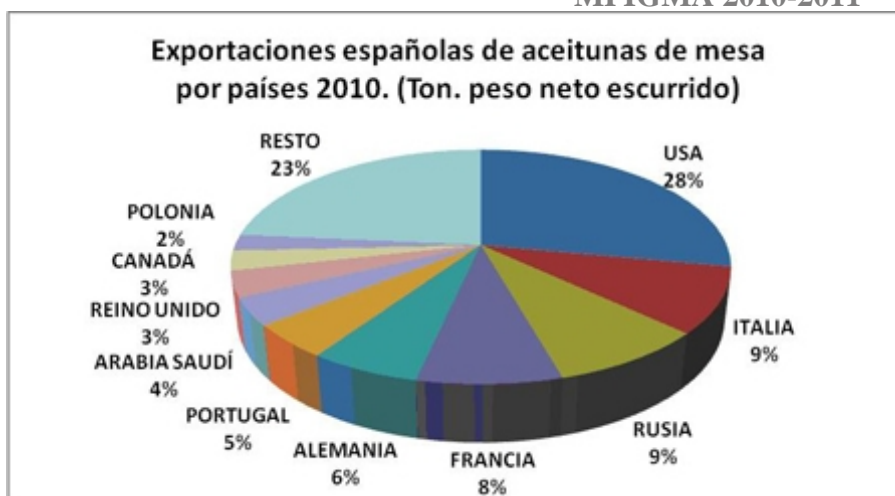
Fuente: D.G Aduanas

En la gráfica que se muestra a continuación podemos observar que en el año 2010 las exportaciones han aumentado en todas las zonas geográficas. Las ventas realizadas dentro de la UE tienen un papel preponderante en las exportaciones españolas de aceitunas de mesa, seguidas del bloque USA/CANADÁ/PUERTO RICO, y de lejos por Europa del Este, Países Árabes, Centro-Sudamérica y Resto Mundo.



Fuente: D.G Aduanas

Haciendo un análisis por países, en la actualidad España exporta aceitunas de mesa a más de 120. En 2010 su principal mercado ha sido Estados Unidos con un 27% de las exportaciones, seguido de Italia, Rusia y Francia. El resto de países que completan las diez primeras posiciones son, por este orden, Alemania, Portugal, Arabia Saudita, Reino Unido, Canadá y Polonia.



Fuente: D.G Aduanas

A continuación se detalla la composición de las exportaciones españolas de aceitunas de mesa por variedades, tipos y presentaciones en el año 2010:

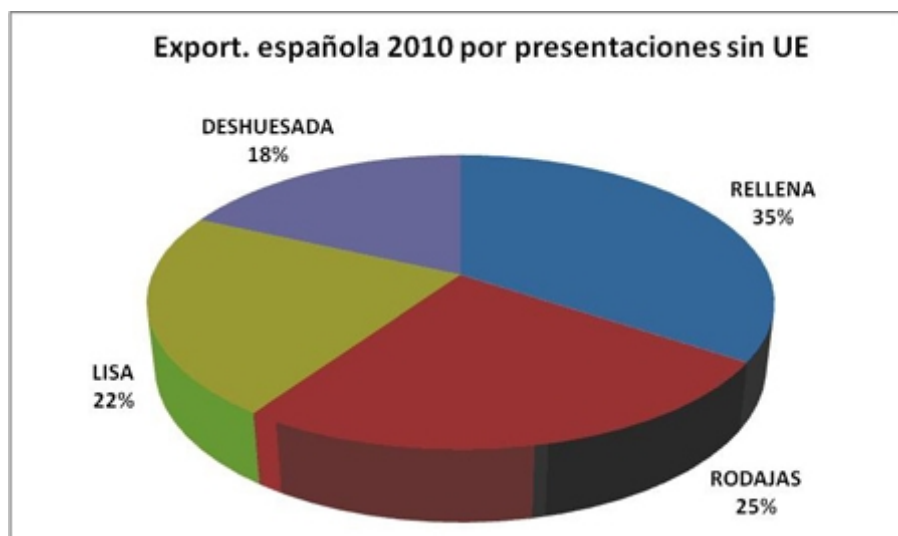


Fuente: Agencia Aceite de Oliva





Fuente: Agencia Aceite de Oliva



Fuente: ASEMESA

## IMPORTACIONES

Al disponer de aceitunas de gran calidad y en cantidad suficiente, la importación nunca ha sido relevante en este sector. Sin embargo, en algunas campañas la cifra de importación ha crecido respecto a otras, lo que se explica por la preocupación por parte de la industria en encontrar aceitunas a precios competitivos.

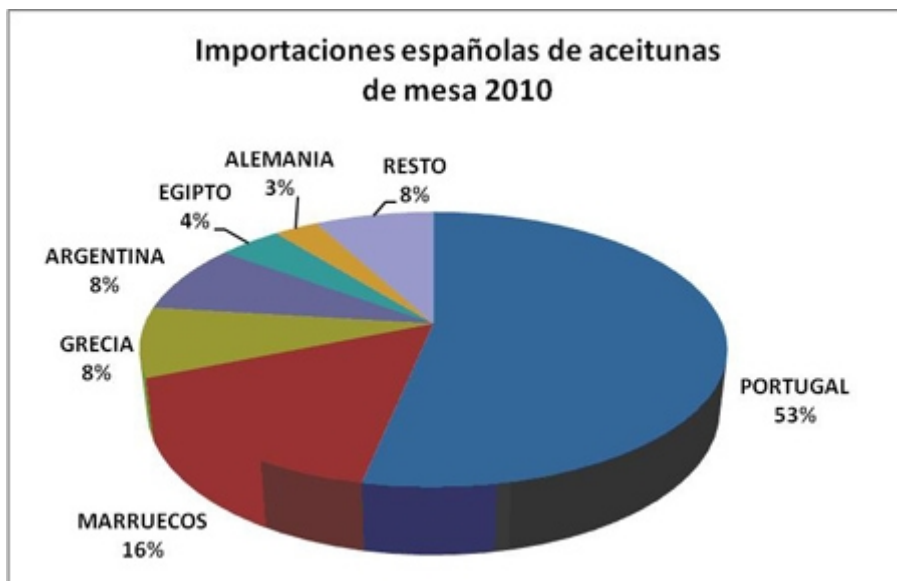
Atendiendo al primer gráfico, podemos observar cómo las importaciones de

aceituna de mesa de España han aumentando en 2010 con respecto al año anterior, superando las importaciones de 2008.



Fuente: D.G Aduanas

En lo que respecta al origen de esas importaciones, podemos ver como Portugal es el principal país con algo más de la mitad de las importaciones. Otros países son: Marruecos, Grecia y Argentina.



Fuente: D.G Aduanas

Aceituna de mesa.

Según la Norma de Calidad emitida por el Consejo Oleícola Internacional (1980), se denomina aceituna de mesa al fruto de variedades determinadas de olivo cultivado (*Olea Europea Sativa*) sano, recolectado en los estados de madurez y calidad adecuados tales que, sometido a las preparaciones correspondientes, dé un producto de consumo y de buena conservación como mercancía comercial.

Son las obtenidas de frutos recogidos durante el ciclo de maduración, antes del envero y cuando han alcanzado un tamaño normal. Se recogen generalmente a mano, en el momento que comienza un ligero cambio de coloración desde el verde hoja a un verde ligeramente amarillento, cuando la pulpa comienza a modificar su consistencia pero antes de que se ablande.

Las aceitunas no deben haber comenzado a colorearse. En algunos casos se recogen las aceitunas para mesa con medios mecánicos pero a causa del elevado porcentaje de frutos que muestran magulladuras, se hace necesario tomar precauciones en los receptores e incluso hacer en el mismo campo la inmersión en disolución alcalina diluida.

Las aceitunas recién recolectadas, a ser posible en el mismo día, se llevan a la planta de tratamiento para su procesado.

La aceituna es una drupa que contiene un principio amargo, que es la oleuropeína, un bajo contenido en azúcares (2,6 a 6%) en contraste con el resto de las drupas que alcanzan el 12% o más, y un elevado contenido en aceite, desde el 12% al 30%, según estado de madurez y variedad. Estas características motivan que sea un fruto que no se puede consumir tal como está en el árbol, sino que haya que someterlo a unos procesos que varían considerablemente de unas regiones a otras y que están en función, también de la variedad.

Algunas aceitunas son excepción a lo descrito, porque al avanzar el proceso de

maduración se convierten en frutos dulces en el propio árbol, en la mayor parte de los casos debido a fermentaciones. Es conocido el caso de la variedad Thrubolea en Grecia.

La aceituna de mesa constituye un alimento de alto valor nutritivo y muy equilibrado, posee los aminoácidos esenciales en una proporción ideal, aunque su contenido en proteína es bajo, su nivel de fibra hace que sea muy digestiva. Destacan sus contenidos en minerales, especialmente el Calcio y el Hierro, encontrándose también presentes la provitamina A, vitamina C y la tiamina.

La oleuropeína propia de la aceituna debe de ser eliminada por su fuerte sabor amargo, aunque no es perjudicial para la salud. En general, los frutos se someten a tratamientos con hidróxido sódico o potásico, salmuera o sucesivos lavados con agua, según sistemas y hábitos locales.

Según la zona geográfica, en España se cultivan diferentes variedades de aceitunas de mesa. Las más relevantes son la Manzanilla, la Gordal, la Hojiblanca, la Carrasqueña y la Cacereña.

Por su coloración se catalogan en tres tipos, dependiendo del momento en que se han recolectado y del proceso de elaboración llevado a cabo:

Verdes: Aceitunas obtenidas de frutos de tamaño normal, recogidos en su punto de maduración.

De color cambiante: Aceitunas recogidas antes de su completa madurez y con frutos de color morado, rosáceo o castaño.

Negras: Aceitunas que proceden de frutos que no están totalmente maduros y que una vez tratadas adquieren su color negro característico.

Las principales presentaciones son las siguientes:

Enteras: Son las que conservan su forma original y a las que no se les ha sacado el hueso.

Deshuesadas: Son las aceitunas a las que se ha sacado el hueso y conservan prácticamente su forma original.

Rellenas: Son aceitunas deshuesadas que se rellenan con uno o más ingredientes como pimiento, cebolla, atún, anchoa, salmón, almendra, etc.



#### **MPIGMA 2010-2011**

Saladas: Aceitunas cortadas en gajos o lonjas y deshuesadas. Pueden ir acompañadas de alcaparras y otros materiales de relleno.

Lonjas: Aceitunas deshuesadas o rellenas cortadas en aros de un grosor similar.

Alcaparrado: Aceitunas enteras o deshuesadas con o sin relleno, generalmente de tamaño pequeño y acompañadas de alcaparras.

Tiradas: Aceitunas que no van colocadas en orden, sino según se rellene el envase.

Colocadas: Aceitunas que se encajan en los envases, siguiendo un orden simétrico o adoptando formas geométricas.

## **1. OBJETIVOS**

La siguiente propuesta tiene como objeto la introducción de mejoras en el proceso de aderezo de aceitunas para obtener una reducción de aguas a tratar así como para el tratamiento de las aguas residuales generadas durante el proceso.

El vertido incontrolado de este efluente, viene siendo un problema medio ambiental serio en Andalucía, debido al alto poder contaminante que tiene por la elevada carga de materia orgánica, sólidos disueltos y lejías alcalinas.

La presente propuesta tiene como fin aportar y conjugar alternativas de reutilización de lejías y reducción de lavados junto con propuesta de depuración de las aguas a tratar con objeto de resolver dichos problemas medio ambientales que se originan actualmente en el entorno de los puntos de vertidos y en las zonas aguas abajo de los mismos, por causa del vertido directo de la industria del aderezo de la aceituna.

## **2. FUTURIBLE UBICACIÓN DE IMPLANTACIÓN**

La estación de tratamiento se va a ubicar en el término municipal de Marchena donde abastecerá las necesidades de depuración de las aguas procedentes de la aceituneras existentes.

### **3. DESTINO DE LA CONSTRUCCIÓN**

#### **3.1. LA INDUSTRIA DE ADEREZO DE LA ACEITUNA DE MESA**

-GENERALIDADES

-EL PROCESO DE ADEREZO

#### **3.2. VERTIDOS. PROBLEMÁTICA DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE ACEITUNERA**

##### Introducción

En este punto vamos a comprender la necesidad de llegar a una solución adecuada para el tratamiento del agua residual de aceitunera que constituye hoy día un importante problema medioambiental debido al vacío que existe en torno al mismo. Empezaremos refrescando nuestros conocimientos acerca de la aceituna en sí, su importancia como producto tanto de consumo nacional como a nivel de exportación, y el volumen que se maneja en nuestro país, líder mundial del sector. Entraremos en la cadena de procesado del producto para conocer con detalle los tratamientos que se aplican a la aceituna desde la recolección hasta el envasado y en particular nos fijaremos en las aguas residuales que van saliendo en cada etapa, su volumen y caracterización. Finalmente ilustraremos con ejemplos concretos el problema medioambiental derivado de la falta de tecnología de depuración eficaz, como es el de los vertidos incontrolados de estos residuos altamente contaminantes.



### **3.1. LA INDUSTRIA DE ADEREZO DE ACEITUNA**

#### **GENERALIDADES**

##### **LA ACEITUNA**

Según la Norma de Calidad emitida por el Consejo Oleícola Internacional (1980), se denomina aceituna de mesa al fruto de variedades determinadas de olivo cultivado, sano, cogido en el estado de madurez adecuado y de calidad tal que, sometido a las preparaciones adecuadas, dé un producto de consumo y de buena conservación como mercancía comercial. La aceituna de mesa constituye un alimento de alto valor nutritivo y muy equilibrado, posee todos los aminoácidos esenciales en una proporción ideal, aunque su contenido en proteína es bajo, su nivel de fibra hace que sea muy digestiva. Destacan sus contenidos en minerales, especialmente el Calcio y el Hierro, también se encuentra presente la Provitamina A, Vitamina C y Tiamina.

Actualmente, la producción de aceituna para ambos fines se distribuye desigualmente, siendo muy superior la cantidad destinada a la obtención de aceite de oliva y otros que la usada para aderezo. Vamos ver más detenidamente la evolución del mercado en los últimos diez años.

MPIGMA 2010-2011

Años	Producción total de aceituna (miles de t)	Destino de la producción (miles de t)	
		Aceituna Aderezo para	Aceituna almazara para
1990	3.369,3	216,7	3.152,6
1991	2.983,0	242,2	2.740,8
1992	3.177,8	223,7	2.954,1
1993	2.809,9	207,9	2.602,0
1994	2.798,7	192,2	2.606,5
1995	1.694,2	189,9	1.504,3
1996	4.517,2	201,1	4.316,1
1997	5.879,6	308,4	5.571,2
1998	3.831,7	278,3	3.553,4
1999	3.394,7	298,9	3.095,8
2000	3.700,0	300,2	3.399,8
2001	3.500,7	333,5	3.167,2

PREPARACIONES.

Son muy variadas las que podemos encontrar, entre ellas estarían:

Aceitunas verdes aderezadas en salmuera: son las que se han sometido a un tratamiento con lejía alcalina, acondicionándolas posteriormente en salmuera, y se conservan por fermentación láctica natural (estilo sevillano) o por otros procedimientos varios.

- Aceitunas verdes sin aderezar en salmuera: son las tratadas directamente con salmuera y conservadas por fermentación natural.
- Aceitunas de color cambiante aderezadas con salmuera: son las obtenidas tras un tratamiento alcalino y conservadas en salmuera.
- Aceitunas de color cambiante al natural en salmuera. Conservadas en salmuera y listas para el consumo.
- Aceitunas negras en salmuera: estas aceitunas son firmes, lisas y de piel brillante, pudiendo presentar, debido a su preparación, ligeras concavidades en su superficie.
- Aceitunas partidas: obtenidas de frutos enteros, frescos o previamente tratados con salmuera, sometidos a un procesamiento destinado a abrir la pulpa sin fracturar el hueso, que permanece entero en el fruto. Pueden tratarse con una lejía ligera y se conservan en una salmuera eventualmente aromatizada, con o sin adición de vinagre. Tipos de aceitunas partidas:
- Aceitunas seccionadas (rayadas): aceitunas verdes, de color cambiante o negras, seccionadas en sentido longitudinal mediante incisiones practicadas en la piel y parte de la pulpa y puestas en salmuera, con vinagre o sin él; se las puede incorporar aceite de oliva y agentes aromatizantes.

SALMUERAS.

Se designan con este nombre las disoluciones de sal comestible en agua microbiológicamente potable, adicionadas o no de azúcar, vinagre o ácido láctico, aceite y otras sustancias autorizadas y aromatizadas o no con diversas especias y plantas. Deberá estar limpia de olores, sabores anormales o materias extrañas no autorizadas; la salmuera madre filtrada podrá utilizarse en los envases a granel. La contenida en frasco de vidrio, además de limpia, habrá de ser transparente. En cuanto a la concentración salina y el límite de su pH serán los siguientes:

Aceitunas verdes en salmuera, aderezadas o no:

- Envases herméticos      5 % de cloruro sódico      pH 4,0.
- Envases no herméticos      6 % de cloruro sódico      pH 4,5.

Aceitunas verdes aliñadas:

- En envases herméticos      4 % cloruro sódico      ---
- En envases no herméticos      6 % cloruro sódico      ---

Aceitunas de color cambiante:

- Cualquier preparación      6 % cloruro sódico      pH 4,5.

Aceitunas negras:

- En salmuera      7 % cloruro sódico      ---
- En sal seca      10 % cloruro sódico      ---

## ALIÑOS.

Es el aderezo que se confiere a la aceituna añadiendo al líquido de gobierno productos aromáticos vegetales (que no se consideran ni total ni parcialmente materia extraña a la aceituna aliñada), y eventualmente vinagre.

## INGREDIENTES.

Son productos alimenticios que, como relleno, pueden acompañar habitualmente a la aceituna: pimiento, pasta de pimiento, cebolla, pasta de cebolla, avellanas, aceituna, alcaparra, cáscara de naranja o limón, anchoas, etc., y que deberán cumplir las normas de calidad correspondientes a cada producto específico. En particular las pastas para relleno, en presentación destinadas a la exportación, deberán haber sido autorizadas previamente por la Dirección General de Exportación a través de la Subdirección General de Inspección y Normalización de las Exportaciones, debiendo sus fabricantes someterse a las condiciones de control que dicha Dirección General establezca.

## ADITIVOS.

Se consideran aditivos las sustancias añadidas para mejorar la conservación de la aceituna. Estos productos y sus dosis de utilización son los siguientes:

- Ácido benzoico y sus sales de sodio o potasio, en dosis máximas de 1 g/kg (expresado en ácido benzoico).
- Ácido sórbico y sus sales de sodio o potasio, en dosis máximas de 0,5 g/kg (expresado en ácido sórbico).

- Ácido láctico y cítrico, ambos en dosis máxima de 15 g/kg.
- Ácido ascórbico, en dosis máxima de 0,2 g/kg.
- Gluconato ferroso, en dosis máxima de 0,15 g/kg., referido de Fe total en el fruto (únicamente para fijar el color en las aceitunas ennegrecidas por oxidación).
- Hidróxido sódico (cuando se usa en la preparación de lejía alcalina como coadyuvante de la elaboración).

#### CALIBRADO.

Las aceitunas se calibran según el número de frutos que entran en un kilogramo. La escala de calibres va desde 60/70, 71/80, 81/90, sucesivamente hasta 401/420 (más se considera perdigón). El calibrado será obligatorio para las aceitunas que se presenten enteras, deshuesadas, rellenas y en mitades

## COMERCIALIZACION

España es el primer productor y exportador de aceitunas de mesa con un 25% y un 50%, respectivamente, del total mundial. Las cifras medias de exportación de los tres últimos años arrojan los siguientes valores : 132.500.000 kilos , con un contravalor de 240 millones de euros. El mercado nacional consume 110.000.000 kilos con un contravalor de 200 millones de euros. Estados Unidos sigue siendo el principal mercado para la aceituna de mesa española, seguido de Arabia Saudita, Canadá y Rusia. Nuestras exportaciones de aceituna de mesa han experimentado en los últimos años importantes transformaciones. De una parte, al lado de las tradicionales aceitunas aliñadas estilo sevillano, han surgido por exigencia del mercado nuevas variantes que amplían considerablemente la diversidad de la oferta; además se ha producido una serie de avances tecnológicos que obligatoriamente han de ser tenidos en cuenta.

La Unión Europea es el mayor productor mundial de aceite de oliva y de aceitunas de mesa y produce cada año, en una superficie de aproximadamente 500.000 hectáreas, 1.450.000 toneladas de aceite de oliva anualmente, lo que constituye el 80% de la producción anual mundial. Lo mismo ocurre con la producción de aceitunas de mesa aunque en comparación con el aceite de oliva el mercado en este caso es relativamente pequeño.

## **EL PROCESO DE ADEREZO**

El proceso de elaboración de la aceituna de mesa en España es el resultado de la combinación de la tradición y de la moderna tecnología. Calidad, selección, esmerada elaboración, todo está controlado. Sólo las elaboraciones impecables saldrán de la cinta para el mercado. Las aportaciones de los investigadores y de los técnicos han dado como resultado un sector tecnológicamente avanzado, en constante evolución, capaz de ofrecer un producto de la máxima calidad apreciado a nivel mundial. Las aceitunas de mesa, tras su selección y envasado, deberán presentarse: sanas, limpias, exentas de olor y sabor anormales, con la madurez adecuada, exentas de defectos que puedan afectar su comestibilidad o adecuada conservación, exentas de materias extrañas, sin síntomas de alteración en curso o de fermentación anormal, calibradas (las enteras, deshuesadas, rellenas y mitades), de una sola variedad en el mismo envase y de color uniforme, salvo las aliñadas y de color cambiante.

En este procedimiento, los frutos, de color verde a verde amarillento, una vez recolectados, se transportan a las Plantas de Aderezo y después de ser escogidos, y parcialmente clasificados, se tratan con una solución diluida de hidróxido sódico, operación denominada cocido, para eliminar el amargor; seguidamente, los frutos se lavan varias veces con agua por períodos variables de tiempo, para eliminar el exceso de lejía. Finalmente se colocan en una salmuera de unos 10° donde sufren la típica fermentación láctica de duración variable. Los frutos, una vez fermentados, se seleccionan y se clasifican por tamaños para ser envasados como enteros, deshuesados, o rellenos con diversos ingredientes.

El esquema del proceso de aderezo de la aceituna es el siguiente (Fernández Díez et al, 1985):



- Recolección y transporte
- Escogido (clasificación).
- Tratamiento con lejía.
- Lavados
- Colocación en salmuera
- Fermentación
- Escogido y clasificado
- Deshueso y relleno
- Envasado

#### RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y VALORACIÓN DEL FRUTO.

El momento óptimo de la recolección de las aceitunas verdes es cuando adquieran su mayor tamaño y antes del envero, es decir, cuando la coloración externa es verde amarillo – paja y aún no ha comenzado a tomar color rosado. Si se recolectan antes, la fermentación se desarrolla con dificultad, resultan duras y de sabor poco agradable; si son tardías el producto resulta blando y se conserva mal.

El transporte se realiza en contenedores o a granel, aunque este sistema produce un cierto daño a los frutos. Normalmente se separan los pequeños tamaños, no comerciales, junto a las hojas y ramillas, en el propio campo, antes de ser enviadas a las Plantas de Aderezo. En todo caso, esta operación se realiza en la planta antes del tratamiento alcalino.

A la recepción de los frutos se toman los datos necesarios para identificar la partida durante todo el proceso de elaboración y se selecciona una muestra representativa de la que se realiza una valoración, para fijar la calidad de la misma. Los principales datos a determinar son: el porcentaje de los tamaños que no se aprovechan, el tamaño medio y la distribución de tamaños, y el porcentaje de defectos, distinguiendo el tipo e intensidad de los mismos.

#### COCIDO, LAVADO Y COLOCACIÓN EN SALMUERA.

El tratamiento con una solución diluida de hidróxido sódico, operación denominada cocido, es la operación fundamental en el proceso de aderezo siendo su principal objetivo la hidrólisis del glucósido amargo oleuropeína, responsable del característico amargor de este fruto. Además, ejerce una acción muy compleja cuya consecuencia más importante es que, al colocar las aceitunas en salmuera, ésta se convierte en un adecuado medio de cultivo donde se desarrolla la típica fermentación láctica.

Algunas variedades precisan de uno o dos días de reposo previo para evitar que el tratamiento con sosa provoque la rotura y desprendimiento de la piel. El tratamiento con lejías diluidas, aplicado para el transporte en líquido, también evita el despellejado de los frutos sin necesidad de aplicar el reposo previo. Conviene recordar que si el cocido no se aplica correctamente pueden aparecer manchas pardas en la superficie de los frutos.

La concentración de la lejía de cocido se ajusta de forma que, considerando la temperatura ambiente, el tratamiento dure un número determinado de horas que suele ser distinto para cada variedad. A mayor concentración de lejía y temperatura, la acción es más enérgica y provoca una mayor permeabilidad de

la piel, pero permanece más cantidad de sosa en el interior de la pulpa, lo que dificulta un buen valor de pH al final de la fermentación.

La penetración de la lejía en la pulpa se da por terminada cuando el frente ha alcanzado los  $\frac{2}{3}$  ó  $\frac{3}{4}$  de la distancia de la piel al hueso. Si la penetración es insuficiente, las aceitunas resultan amargas y fermentan mal, quedando una zona próxima al hueso que con el tiempo vira a una color violeta y la piel adquiere un color pardo; por otro lado, si se van a deshuesar el hueso no queda limpio y arrastra mucha pulpa. Si la penetración es excesiva, resulta difícil obtener unas buenas características químicas para su conservación a largo plazo, la textura es deficiente y, si van a ser deshuesadas, dan una elevado porcentaje de unidades rotas durante dicha operación.

Para facilitar que todos los frutos alcancen una penetración adecuada en el mismo tiempo, las partidas de aceitunas destinadas al cocido deben ser lo más homogéneas posibles en tamaño medio y madurez.

Al finalizar el cocido se retira la lejía y se cubren las aceitunas con agua, operación denominada lavado, cuyo principal objetivo es la eliminación de la mayor cantidad posible de la sosa que cubre a las aceitunas y de la que penetró en la pulpa. No obstante, el lavado no debe ser excesivo para evitar la pérdida de aquellos compuestos hidrosolubles que son necesarios para la fermentación.

En número y duración de los lavados es variable y la tendencia actual, considerando la escasez de agua y la contaminación que producen estos vertidos, es dar un solo lavado de unas 12-15 horas. si es preciso rebajar el contenido de las sales sódicas de ácidos orgánicos, formados por reacción de la sosa residual con los ácidos de la fermentación, se añaden los equivalentes preciso de un ácido fuerte. Normalmente, se usa clorhídrico que está admitido por las Normas.

Una vez terminado el lavado, las aceitunas se colocan en una salmuera de 10-11° donde se mantienen durante las fases de fermentación y conservación. Para la fermentación, se suelen pasar a unos recipientes enterrados distintos a los de cocido, que suelen ser aéreos para facilitar el trasvase de los frutos. A los pocos días, la sal se equilibra en valores comprendidos entre 5-6 %. Si la concentración inicial de sal es más elevada provoca una salida excesiva de jugo, debido a la mayor presión osmótica exterior, lo que tiene como consecuencia el arrugado permanente de los frutos, y además la velocidad de fermentación se ve alterada; si es mucho más baja puede resultar un bajo valor de equilibrio, menor de 5 %, y se favorece el desarrollo de ciertas alteraciones.

Cada variedad precisa un tratamiento de cocido en función de sus características, principalmente, textura y amargor, y también de las condiciones ambientales, especialmente la temperatura.

#### FERMENTACIÓN Y CONSERVACIÓN.

En los primeros días de la colocación de las aceitunas en salmuera, debido a la lejía residual que va saliendo de la pulpa, el valor de pH resulta superior a 10 unidades. A lo largo de las diversas etapas de la fermentación, la sucesión de diversos microorganismos hace que el pH descienda a valores de 4 unidades, o menos, lo que facilita la adecuada conservación a largo plazo. Muchos estudios recientes se encaminan a describir los cambios en las características físico – químicas y microbiológicas de las salmueras a lo largo de todo el proceso fermentativo. El uso de una mezcla de bacterias ácido lácticas y de levaduras durante el proceso fermentativo parece ser un método prometedor para la estandarización de la producción de aceituna de mesa al tiempo que se minimizarían los riesgos de contaminación externas. Además con los nuevos

datos obtenidos de los experimentos podemos modificar las técnicas utilizadas durante el proceso fermentativo en una u otra dirección para obtener un producto final más acorde con las necesidades buscadas. De esta manera, alterando los parámetros físico- químico y biológicos podemos optimizar todo el proceso fermentativo.

La primera fase se extiende desde la colocación en salmuera hasta que, a los 5-7 días, el valor de pH es próximo a 6 unidades; en esta fase se detectan los siguientes grupos de microorganismos: bacilos Gram-negativos, esporulados Gram-positivos y bacterias cocáceas del ácido láctico de los géneros *Leuconostoc*, *Pediococcus* y *Enterococcus*. Los Gram-negativos inician el descenso del pH; no obstante, se debe evitar un profuso desarrollo de los mismos, dado que pueden provocar alteraciones. Para ello, se recomienda el descenso del pH pasando una corriente de CO<sub>2</sub> a las 24 horas; también se pueden emplear otros ácidos como acético o láctico.

Una vez que comienza el desarrollo de los lactobacilos, se inicia la segunda fase, la cual dura hasta que el valor de pH es de 4,5 unidades. Desciende la población de cocos lácticos y desaparecen los bacilos Gram-negativos. Normalmente transcurre en unos 15-20 días.

La tercera fase se caracteriza por el predominio de los lactobacilos, de los que se han aislado, además del típico *L. plantarum*, otras especies como *L. brevis* y *L. delbrueckii*. Esta fase dura hasta que cesa la producción de ácido por consumo de la materia fermentable. El valor de pH resulta igual o inferior a 4 unidades.

Junto a los microorganismos citados en las tres fases de la fermentación, se encuentra, habitualmente, un desarrollo variable de levaduras.

Una vez terminada la fermentación láctica, se inicia la conservación de las aceitunas que es la cuarta fase y, si no se cuida especialmente, puede darse una cuarta fase de la fermentación por desarrollo de bacterias del género *Propionibacterium*. Ello origina un aumento del pH, pues estos microorganismos consumen el ácido láctico formado y producen una mezcla de los ácidos acético y propiónico que, al ser más débiles, provocan el incremento del pH citado.

Para evitar este efecto, se debe aumentar, al final de la fermentación láctica principal, la concentración de sal hasta niveles de 8,5-9,5 %, lo que evita el desarrollo de estas bacterias y garantiza una adecuada conservación al mantener un bajo valor de pH. La subida de sal se debe realizar en dos etapas para evitar el posible arrugado de los frutos, y otros problemas que resulten en una disminución de la calidad final del producto.

Para dirigir y controlar todo el proceso de la fermentación, se recomienda el descenso inicial del pH, ya indicado, unido al mantenimiento de una temperatura adecuada, 22-25 ° C, durante, al menos, unos 30 días, utilizando si es preciso un intercambiador de calor. Asimismo, es conveniente añadir un cultivo puro de bacterias lácticas o, en todo caso, se puede utilizar salmuera madre de otros fermentadores que se encuentren en activa fermentación láctica y cuyo valor de pH sea inferior a 4,5 unidades, lo que implica la ausencia de los bacilos Gram-negativos. Igualmente, si es necesario, se añade materia fermentable para completar la fermentación y conseguir un buen valor de pH final.

## OPERACIONES COMPLEMENTARIAS.

Terminada la fermentación, las aceitunas deben reunir las características adecuadas para ser destinadas a su envasado y consumo. No obstante, antes de su comercialización se han de realizar una serie de operaciones complementarias. En primer lugar se deben agrupar los diferentes tamaños dado que la Reglamentación Técnico Sanitaria (1983), Norma que regula el comercio, exige envasar por tamaños homogéneos; también, se deben separar todas aquellas unidades que presenten defectos pues, igualmente, la Norma limita el porcentaje de defectos en el producto final.

Estas operaciones se realizan en la industria pasando las aceitunas por cintas donde se escogen y separan las defectuosas. Existen hoy día máquinas electrónicas que realizan esta operación automáticamente. La agrupación de tamaños se realiza pasando por máquinas de cables divergentes cuyas tolvas, para separar los tamaños, se ajustan para cada variedad. Los grupos de igual calibre se conservan en recipientes de menor capacidad donde se mantienen hasta el momento de ser destinados a su envasado.

Durante estas operaciones, en las que se separan los frutos de su salmuera madre, se aprovecha para reducir la variabilidad de las características químicas que, normalmente, presentan los fermentadores. Esta variabilidad se debe a las operaciones de cocido y lavado, y a las diferencias habidas en la propia fermentación. Las salmueras, una vez mezcladas, se corrigen, si es necesario, antes de añadirse de nuevo a las aceitunas escogidas y clasificadas. El simple hecho de ajustar las diferentes salmueras a los mismos valores de acidez y sal, reduce la variabilidad inicial a la mitad.

El resultado de estas operaciones conduce a la obtención de recipientes con aceitunas del mismo tamaño, con calidad organoléptica uniforme y con niveles

de acidez y sal homogéneos y suficientemente elevados para garantizar su conservación. Todo ello facilita, apreciablemente, su posterior envasado.

Hasta hace unos años, los frutos que se comercializaban como deshuesados o rellenos se preparaban una vez clasificados y se conservaban hasta el momento de su envasado. Hoy día, como las máquinas que realizan estas operaciones tienen una gran producción, se suelen elaborar en continuo; es decir, las aceitunas enteras se deshuesan o rellenan en máquinas apropiadas inmediatamente antes de su envasado en los pequeños recipientes destinados al consumidor.



### 3.2. EL PROBLEMA DE LOS VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES.

En la preparación comercial de las aceitunas, se produce un gran volumen de vertidos líquidos. El volumen de los mismos depende de la elaboración pudiéndose hacer una estimación según tipo de aceituna y procesado.

Por kilo de fruto se generan lejías de cocido, aguas de lavado salmuera madre de fermentación, siendo los dos primeros producidos en los meses de campaña y la salmuera durante el resto del año.

Litros de aguas residuales por Kg. de frutos

	Lejías	Aguas de lavado	Salmueras	Total
Proceso tradicional de aceitunas verdes	0.5	1.25	0.75	2.5
Proceso anterior con reutilización de lejías y ahorro	0.1	0.9	0.75	1.75
Proceso de aceitunas negras por oxidación	1.5	2.0	0.75	4.25

Para la producción actual de aceituna de mesa en nuestro país, que asciende actualmente a 333.500 Tn. se podría estimar un vertido de más de 1.000.000 de metros cúbicos anuales localizados, además en zonas muy concretas.

Las principales características de los líquidos de desecho de la elaboración de aceitunas verdes aderezadas en salmuera, estilo español las podemos resumir mediante el siguiente cuadro.

Características(g/l)	Lejía	Lavados	Salmuera
PH	12.2	10	3.9
NaOH libre	11.0	1.5	
NaCl			97.0
Acidez libre			6.0
Polifenoles	4.1	4.0	6.3
DQO	23.0	24.6	10.7
DBO5	15.0	12.3	9.5
Sólidos volátiles	30.2	35.1	17.8
Sólidos totales	48.2	46.5	118.5

La determinación de la carga contaminante de cada vertido varía con la variedad de aceituna utilizada en el proceso productivo, la concentración de sales empleada, la riqueza de la aceitunas, etc., de manera que cada vertido puede ser distinto en la composición de los sólidos disueltos, sólidos en suspensión, y demás elementos contaminantes De los diferentes estudios

realizados los sistemas que han tenido mayor aplicación industrial en la reducción del volumen de vertidos son los siguientes:

- Reutilización de lejías de cocido. Como primera medida de control para reducir el volumen de vertidos, se estudió la reutilización de las lejías de cocido. Es una operación sencilla y requiere pocas instalaciones complementarias, pues basta una bomba y un depósito auxiliar. Es una modificación que resulta muy rentable pues se aprovecha gran parte del hidróxido sódico que se perdería. La concentración de compuestos contaminantes, después de diez o doce reutilizaciones, no llega a ser tres veces la carga de las de un solo uso. Con ello, se reduce el volumen de los vertidos, se evita una gran cantidad de materia contaminante, y también se ahorra agua, lo que en algunas zonas tiene una gran importancia. Se ha comprobado, repetidamente, que la fermentación y las características organolépticas de los frutos elaborados con lejías reutilizadas son normales y no se diferencian de los obtenidos por el proceso tradicional.
- Eliminación de lavados. Las modificaciones ensayadas por (Castro *et al.*, 1983), han abarcado la supresión de una o las dos aguas de lavado. En el primer caso, los resultados demuestran que se obtiene una fermentación y un producto final que no se diferencian de los obtenidos por el proceso tradicional. De hecho, hoy ya se considera normal la aplicación de un solo lavado. En el caso de suprimir todo el lavado los frutos presentan un sabor más concentrado de lo normal que, en general, se considera excesivo. Por otro lado, aunque permanecen más azúcares y se puede desarrollar más acidez libre, el hecho de quedar mayor contenido de lejía residual hace que sea más difícil obtener bajos valores de pH. En este caso se debe corregir añadiendo ácido

clorhídrico, que se recomienda aportar en dos fases, al principio y al final de la fermentación láctica; sin embargo, un exceso de este ácido puede afectar de forma desfavorable al sabor. Por todo ello, es más recomendable rebajar la acidez combinada sustituyendo parte de la salmuera madre por blanca, aunque esta operación implica un nuevo aporte de vertido. Se aconseja la eliminación del segundo lavado y alargar el primero a 12-15 horas, lo que no representa ningún inconveniente para las características químicas, microbiológicas y organolépticas.

- Depuración y reutilización de salmueras. Considerando, por un lado, el alto poder contaminante de las salmueras de fermentación y, por otro, la elevada cantidad de ácido láctico que contienen, se ha estudiado la regeneración de las mismas, para su posterior empleo como parte del líquido de gobierno utilizado en el envasado final. Se han desarrollado dos sistemas de purificación basados en: a) adsorción de carbón activo y filtración tangencial, y b) ultrafiltración a través de una membrana de un determinado tamaño de poro (Brenes *et al.*, 1990; Fernández *et al.*, 1992). A nivel industrial, el segundo se ha mostrado más favorable y la salmuera regenerada obtenida se ha llegado a reutilizar en el envasado de latas de aceitunas verdes pasterizadas, hasta una proporción del 70% respecto al volumen de líquido de gobierno total. Ello representa, además de reducir la contaminación, un importante ahorro en la cantidad de ácido láctico y sal que se precisa para el envasado final.

Los vertidos de aderezo, son muy contaminantes debido a su elevada carga de sólidos disueltos (CE 8-22 dS/M) y de materia orgánica (entre el 4 y el 16%) que produce una disminución drástica del oxígeno disuelto. A parte del efecto negativo directo que tiene la deficiencia de oxígeno sobre los organismos

acuáticos, se produce un aumento del amonio que resulta letal para los organismos. Los vertidos de aderezo son un grave problema para los ecosistemas fluviales de muchas partes Andalucía, y el río Guadiamar tampoco se escapa de ello. En la zona del emblemático Vado del Quema, en el mes de octubre de 1998 se produjo el vertido de importantes cantidades de esta sustancia desde una empresa aceitunera. La consecuencia inmediata fue la desaparición casi total de la fauna acuática. La comunidad de macroinvertebrados, por ejemplo, que apenas empezaba a recuperarse tras el accidente de las minas de Aznalcóllar, vio reducido el número de familias que la componían a más de dos tercios. Cuatro meses más tarde la comunidad aún no se había recuperado. Además, el número de individuos que la componían era extremadamente reducido. Los macroinvertebrados que habitaban el Vado del Quema en estas condiciones eran todos muy resistentes a la contaminación orgánica y la salinidad, principalmente los dípteros (culícidos y quironómidos), que eran los únicos que se encontraban en cantidades apreciables.

Hay que tener en cuenta, que la Cuenca del Guadiamar ha sido un espacio que históricamente ha sufrido una fuerte alteración antrópica, tanto por la presión minera (minas y gravares) y agrícola, como por ser receptor de varios tipos de vertidos contaminantes, que además de los mineros por su importancia deben destacarse los urbanos aparte de los que ya hemos analizado antes, los de las industrias de aderezo de aceituna, que ha propiciado la desaparición casi en su totalidad de los valores naturales, situación esta que ya se detectaba antes del vertido de las minas de Aznalcóllar, todo ello a pesar de que este río tiene un gran poder de regeneración por ser una cuenca mediterránea casi sin regulación.

Como hemos dicho al principio en estos momentos, la preocupación más importante del sector es resolver el problema medioambiental derivado de la falta de una tecnología de depuración eficaz.

## **4. ALTERNATIVA PROPUESTA**

### **4.1. PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO**

- Digestión anaerobia y evaporación
  - Descripción a varios niveles
  - Control del proceso
  - Tipos de digestores
  - Funcionamiento y mantenimiento

### **4.2. PROTOTIPO DE LABORATORIO**

- Arranque del Digestor
- Experiencia y resultados
- Conclusiones

### **4.3. APLICACIÓN INDUSTRIAL. DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO.**

- Diagrama de proceso
- Digestor-Decantador
- Evaporador
- Sistema de calefacción
- Circuito de gas. Agitación
- Tuberías
- Compresores
- Bombas
- Válvulas
- Instrumentación
- Autómata

#### **4.1. PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO**

Como ya hemos anticipado, el tratamiento que se va a aplicar al vertido de la industria de procesado de aceituna de mesa, es la digestión anaerobia y posterior evaporación.

A continuación vamos a conocer en detalle los fundamentos de estas operaciones.

#### **DIGESTIÓN ANAEROBIA**

El proceso de digestión anaerobia es uno de los mecanismos naturales de degradación de la biomasa en el que las moléculas orgánicas complejas contenidas en el agua residual son descompuestas obteniéndose un producto final inerte con liberación de gases (biogás), fundamentalmente metano y dióxido de carbono. Este proceso biológico natural es realizado por grupos comunidades de bacterias en recipientes cerrados (reactores) y como indica su nombre, en ausencia de oxígeno.

El gas producido puede ser recogido y utilizado como combustible dada su composición rica en metano. El fango final, estabilizado, que se extrae no es putrescible, en él se encuentran los componentes difíciles de degradar, junto con el nitrógeno, el fósforo y los elementos minerales inicialmente presentes en la biomasa y su contenido en organismos patógenos es nulo o muy bajo.



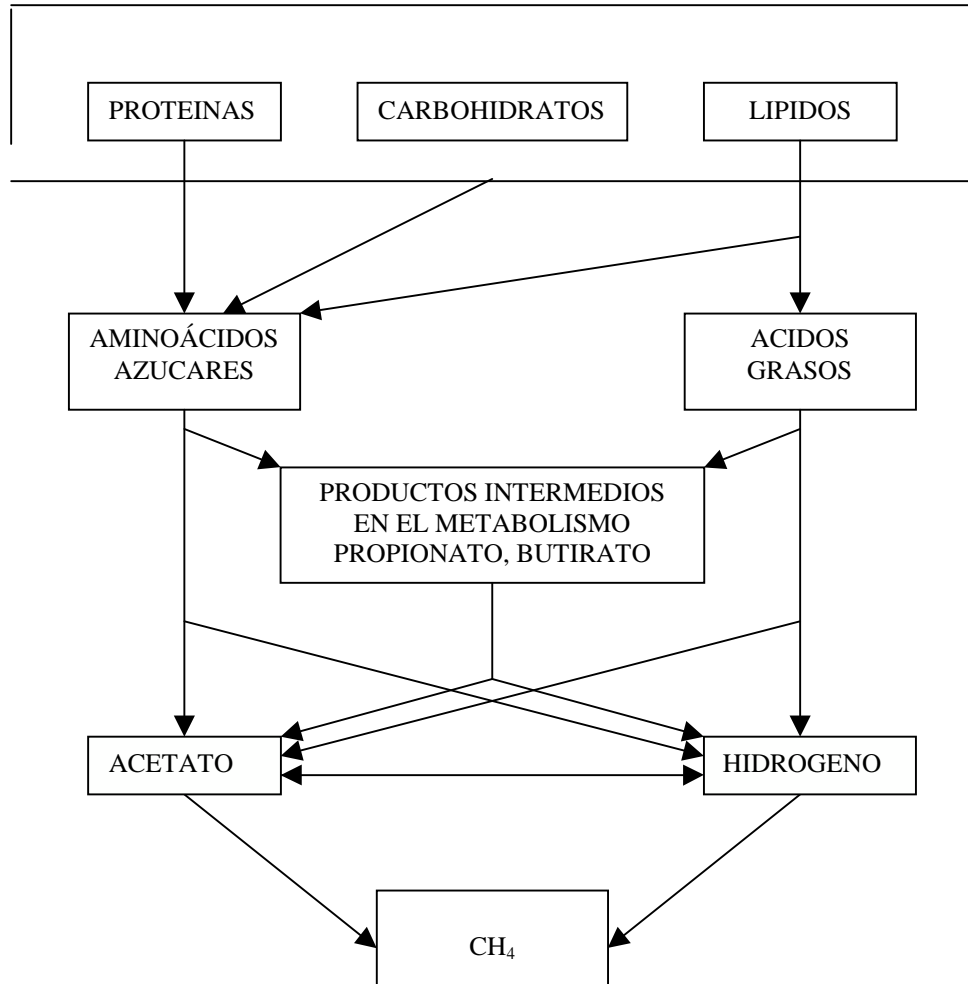
## DESCRIPCIÓN A VARIOS NIVELES

### Bioquímica del proceso

Desde el punto de vista químico en la digestión anaerobia se desarrollan cientos de posibles reacciones, cada una de ellas catalizadas por enzimas específicas para dar compuestos intermedios distintos. Por otro lado en el aspecto microbiológico, el número de especies bacterianas presentes es muy elevado y las reacciones entre ellas son altamente complejas.

En líneas generales se puede decir que durante la digestión, la biomasa de partida formada por moléculas complejas (polisacáridos, proteínas, lípidos y lignina) se descompone en moléculas más pequeñas, proceso que se puede considerar que ocurre en tres etapas más o menos diferenciadas, para dar como productos finales metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Cada una de las etapas es un conjunto de reacciones llevadas a cabo por una compleja población de microorganismos presentes en el digestor, cada una de las cuales cataliza sólo un cierto número de estas reacciones. La mayoría de los microorganismos oxidan determinados compuestos orgánicos para obtener energía para su crecimiento y utilizan compuestos carbonados específicos para sintetizar sus componentes celulares. Los productos finales de un grupo de microorganismos suelen ser el alimento del grupo siguiente, de forma que a lo largo del proceso existe un delicado balance que es necesario mantener para que la reacción se desarrolle correctamente.

Un esquema que puede resumir el proceso que se lleva a cabo es el siguiente



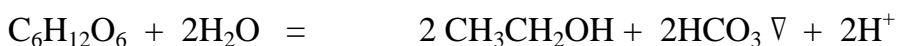
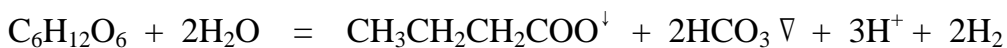
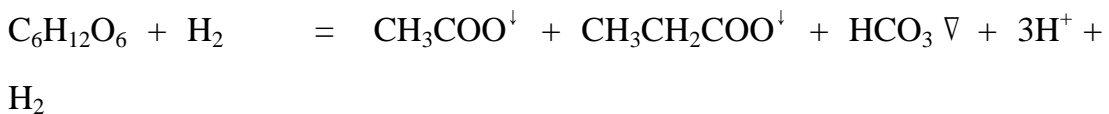
## Mecanismo

Como hemos dicho la digestión se puede concebir como un proceso en tres etapas llevadas a cabo cada una de ellas por un grupo de bacterias concreto.

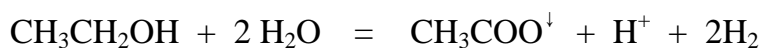
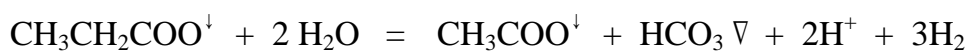
Las etapas son: hidrólisis, fase acetogénica y, finalmente, la fase metanogénica.

- **Hidrólisis:** Durante esta fase se verifica la hidrólisis (licuefacción) y posteriormente fermentación de las sustancias orgánicas de elevado peso molecular, tales como lípidos, proteínas e hidratos de carbono, que se encuentran en suspensión o disueltas. Estas sustancias quedan transformadas y reducidas a otros compuestos orgánicos de cadena molecular más corta, principalmente gases CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>, ácidos grasos volátiles, butiratos, propionatos y etanol. Las bacterias propias de este grupo son las facultativas: *Esterichia Coli* el *Bacilius sp* y las anaerobias: *Clotidrium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus* y *Butirovibrio*. Estas bacterias que componen esta fase ácida son de crecimiento rápido, tardando en doblarse un mínimo de 30 minutos. El pH de la operación suele ser inferior a 7.

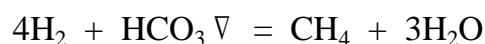
Algunas de las reacciones que se llevan a cabo en esta etapa son las siguientes:



- Fase acetogénica: En esta etapa las bacterias llamadas acetogénicas convierten las moléculas orgánicas de pequeño tamaño y los ácidos grasos volátiles en ácido acético o fórmico, hidrógeno y CO<sub>2</sub>. Las bacterias que intervienen en esta etapa son facultativas (Syntrophobater, Syntropomonas y Desulfovibrio). El tiempo mínimo de doblaje de estas bacterias es de 1,5 a 4 días. Las reacciones que intervienen en esta etapa son entre otras:



- Fase metanogénica: En esta última etapa, las bacterias metanogénicas (anaerobias estrictas) son esenciales para este tipo de digestión, por ser los únicos microorganismos que pueden catabolizar anaerobiamente el ácido acético e hidrógeno para dar productos gaseosos cuyos componentes fundamentales son el metano y dióxido de carbono. Se desarrollan más lentamente y son más sensibles a las variaciones del medio que los organismos productores de ácido. En este grupo de bacterias cabe diferenciar tres subgrupos: Metanobacterias, Metanococos y Metanomicrobios. En la digestión anaerobia, la estabilización se alcanza cuando se produce metano y dióxido de carbono. El gas metano así producido es altamente insoluble, y su desprendimiento de la solución representa la estabilización real del residuo. Para un óptimo trabajo, el elemento acuoso circulante debe tener un pH entre 6,6 y 7,6.



El contenido del reactor deberá carecer de oxígeno disuelto y estar libre de concentraciones inhibitorias de constituyentes tales como los metales pesados y los sulfuros. En competencia con las metanogénicas, están las sulforeductoras que usan el  $\text{SO}_4$  como aceptor de electrones, dando lugar a  $\text{SH}_2$  inhibiendo la actividad de las anteriores. Son moléculas procedentes de la acetogénesis, son utilizadas para reducir el  $\text{SO}_4^{=}$ , en reacciones favorecidas termodinámicamente.

La temperatura es un factor muy importante para que se verifiquen éstas transformaciones metabólicas.

Para mantener un sistema de tratamiento anaeróbico que estabilice correctamente el residuo orgánico, deben hallarse en estado de equilibrio dinámico los microorganismos formadores de ácidos y metano, es decir, las reacciones deben producirse continua y sucesivamente, ya que el funcionamiento anormal de una de ellas, dará lugar al mal funcionamiento global del proceso.

Muchos microorganismos metanogénicos son similares a los encontrados en el estómago de los animales rumiantes. Se considera que una de las reservas mundiales de gas natural tiene su origen en la actividad metabólica de estas bacterias.

### **Cinética del proceso**

Hay que considerar dos aspectos cinéticos de interés, para un proceso, que como el anaerobio, viene representado por un conjunto de etapas en serie y en paralelo, la velocidad global neta viene limitada por la velocidad de reacción correspondiente a las etapas más lentas. Por otro lado las diversas comunidades bacterianas, asociadas en el interior del digestor anaerobio, están caracterizadas por velocidades de crecimiento diferentes.

Bacterias fermentativas  $v = 0.1 - 0,3 \text{ h}^{-1}$

Bacterias metanógenas  $v = 0,03 \text{ h}^{-1}$

Dado que la velocidad de reacción depende de la concentración de microorganismos, para lograr cinéticas adecuadas y régimen estable, es preciso conseguir que los microorganismos con baja velocidad de crecimiento no abandonen el digestor con mayor velocidad de flujo de masa que la correspondiente a la producción de nuevos microorganismos.

Estos aspectos se manifiestan en la práctica en la necesidad de caracterizar las reacciones controlantes, para a través de mejoras en su cinética, lograr procesos globales más rápidos; conseguir, mediante diseños adecuados de los reactores anaerobios, que los microorganismos de más lento crecimiento no abandonen el reactor en proporciones superiores a las de sus niveles de crecimiento.

En algunas ocasiones el empleo de reactores en serie, optimados respecto a determinadas reacciones o microorganismos, puede resultar favorable.

Hay varias causas que pueden limitar la velocidad de la digestión anaerobia

1.- La degradación de biopolímeros, en su fase de hidrólisis, que es un proceso lento llevado a cabo por enzimas extracelulares.

Algunos residuos necesitan un pretratamiento, molienda, tamizado, dilución, para la posterior fermentación.

Los lípidos son hidrolizados muy lentamente, por lo que los sustratos ricos en ellos, limitan la velocidad del proceso. Los no polares son todavía más lentos que los polares. Cuando el reactor se alimenta con muchos sólidos en suspensión, la velocidad neta de reacción se corresponde con la hidrólisis.

2.- Las bacterias metanogénicas al ser las de crecimiento más pequeño, hacen que la metanogénesis sea el paso bioquímico más lento.

Las metanógenas que usan el CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> son de crecimiento más rápido que las que parten de ácido acético.

En condiciones favorables de los demás factores, éste limita la velocidad del proceso.

3.- La existencia de una gran cantidad de sustrato no digerible, ligninas, ceras, etc, que actúan como un peso muerto en el proceso, lo hacen más lento y pueden llegar a ser el límite de la velocidad de reacción.

## **Microbiología**

La digestión anaerobia con formación de biogás es un proceso en etapas, en el que varios grupos de bacterias relacionados tróficamente aprovechan los alimentos que le son suministrados por el metabolismo celular del paso anterior.

Ya hemos visto los tres niveles de degradación de la materia orgánica, y en ellos intervienen dos tipos diferentes de microorganismos:

### **BACTERIAS FACULTATIVAS**

- Hidrolíticas: capaces de asimilar los grandes polímeros para su síntesis celular. Se desarrollan fortuitamente en el medio y también pueden pertenecer a la flora del residuo a digerir. Al ser facultativas consumen el oxígeno que pueda haber en el proceso, contribuyendo a conseguir las condiciones anaerobias necesarias.

Se pueden agrupar como:

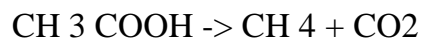
- Celulolíticas y hemicelulolíticas
  - Amilolíticas
  - Proteolíticas
  - Lipolíticas
- Acetogénicas: transforman los ácidos grasos volátiles, en ácido acético e hidrógeno, en reacciones no favorables termodinámicamente en condiciones normales y que necesitan que el hidrógeno sea consumido simultáneamente, para que puedan llevarse a cabo



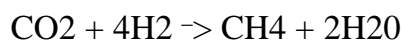
## BACTERIAS ANAEROBIAS

Las metanogénicas, estrictamente anaerobias, son las que a partir de los metabolitos de las acetogénicas forman el metano. Según los precursores que usan, podemos dividirlos en dos grupos:

- Acetoclásticas: lo producen a partir de ácido acético:



- Utilizadoras de hidrógeno: a partir del  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2$  dan metano y agua. El consumo de  $\text{H}_2$  es de importancia para que Las acetogénicas puedan realizar su trabajo degradativo, como ya hemos visto.



Las bacterias metanogénicas, a pesar de ser las más antiguas conocidas, no son las más estudiadas. Presentan una serie de peculiaridades respecto a las demás bacterias y al resto de los seres vivos.

## **CONTROL DE PROCESO**

Son muchos los factores que influyen en la digestión anaerobia, para su estudio los vamos a clasificar en dos tipos:

**“D” Parámetros de diseño:** recogen las formas de actuación sobre el digester. Los podemos clasificar como:

- D1 Fase de arranque
- D2 Efecto de la temperatura
- D3 Grado de agitación
- D4 Nutrientes
- D5 Tóxicos
- D6 Tiempo de retención
- D7 Concentración de sólidos
- D8 Velocidad volumétrica de carga
- D9 Dimensionado

**“C” Parámetros de control:** describen las reacciones producidas en el digester según los parámetros de diseño prefijados. Estos parámetros son:

- C1 pH
- C2 Ácidos grasos volátiles
- C3 Alcalinidad
- C4 Ácidos grasos volátiles / alcalinidad
- C5 Potencial Redox
- C6 Producción de Biogás

## **Parámetros de diseño**

### **D1- Fase de arranque**

Según sea la naturaleza del sustrato de partida habrá que hacer o no una inoculación previa. Así nos encontramos que para aguas residuales industriales es necesario hacerla, ya que en general carecen de microorganismos. En el caso de aguas residuales urbanas esta inoculación casi no es necesaria, pero es aconsejable realizarla para aumentar la velocidad de crecimiento de las bacterias. El inóculo que más utilizado consiste en biomasa procedente de otro digester, soliendo utilizar fangos procedentes de digestores anaerobios urbanos fundamentalmente. El cambio de alimentación en estos digestores debe realizarse poco a poco con el fin de que las bacterias se adapten al nuevo medio. En la puesta en marcha se debe trabajar con velocidades de carga orgánica moderada y controlar constantemente los parámetros de operación.

### **D2 -Efecto de la temperatura**

La digestión anaerobia puede llevarse a cabo en un amplio rango de temperatura (5 – 65° C), dentro del cual pueden aparecer tres zonas claramente definidas. Atendiendo al rango de temperatura en el que actúan las bacterias estas se clasifican:

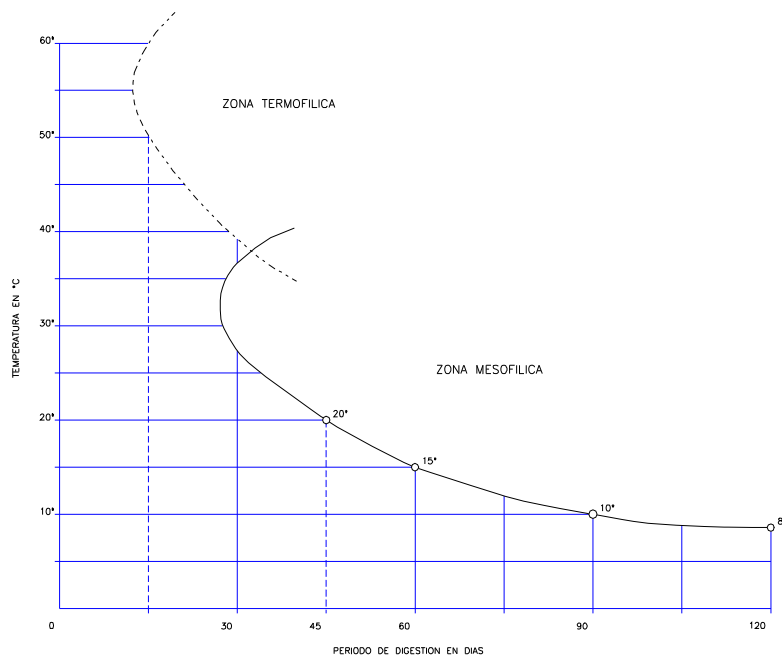
- Psicofílicas:  $T^a < 15^{\circ} \text{C}$
- Mesofílicas:  $15^{\circ} \text{C} < T^a < 45^{\circ} \text{C}$
- Termofílicas:  $45^{\circ} \text{C} < T^a < 65^{\circ} \text{C}$

La digestión termofílica permite una permanencia mínima en los tanques, pero debido a su excepcional sensibilidad a los cambios de temperatura, exige un

gran control además de mayores costos por lo que no es aconsejable. En general se opera en rango mesofílico. La velocidad de producción de metano se multiplica cada 15° C, encontrándose un óptimo funcionamiento alrededor de los 35° C. Esta temperatura combina las mejores condiciones de crecimiento de las bacterias con la mayor velocidad de producción de metano.

La temperatura es por tanto un factor fundamental en el diseño de los digestores, influyendo considerablemente los cambios que se producen en la misma, llegando a detenerse la digestión si la temperatura baja de 10° C.

El efecto de la temperatura puede representarse como en la figura:



Los métodos utilizados en el calentamiento de los son los siguientes:

- En instalaciones pequeñas se emplean intercambiadores situados dentro del digestor, y que utilizan como fuente caliente el agua. Esta agua caliente es suministrada por una caldera que emplea como combustible

el gas producido en el digestor. El agua trabaja en un circuito cerrado, es decir, sale de la caldera y va al interior del digestor, de donde vuelve de nuevo a la caldera para ser calentada.

Este sistema tiene un grave inconveniente y es que el fango se adhiere a los tubos, disminuyendo el poder de transferencia de calor, y en consecuencia el rendimiento de la instalación de calefacción. El coeficiente de transferencia de calor de las tuberías está entre 40 y 75 Kcal/m<sup>2</sup>/°C.

Se utilizó en las primeras instalaciones de calentamiento. Son difíciles de inspeccionar y de limpiar.

- Inyección de vapor en el fondo del digestor, sistema que puede considerarse como en total desuso. El principal inconveniente de este sistema es la cantidad de agua que se introduce en el digestor, dando lugar a una disolución del lodo. Al no recuperarse el agua se requiere una aportación continua de esta, que además debe ser tratada a fin de no crear problemas en los circuitos. El costo de mantenimiento es extraordinario.
- Circulación de lodos tomados del digestor a través de un intercambiador de calor situado fuera de digestor, sistema de mayor uso hoy en día. Existen vario tipos de intercambiadores que se diferencian fundamentalmente en la forma de realizar el contacto agua-fango.
- Intercambiador de calor que es al mismo tiempo caldera. Consiste en una caldera horizontal, que en su interior tiene una tubería helicoidal por la que circula el fango. El lodo es bombeado desde esta tubería directamente desde el digestor. Aquí la transmisión de calor es directa,

por lo que la eficacia de esta instalación es superior a cualquier otro sistema.

- Intercambiador de calor separado de la caldera. En ellos el fango y el agua van en contracorriente por su interior.

Dentro de este sistema de calentamiento, hay que distinguir perfectamente diferenciados dos circuitos distintos, uno para el agua, que en este caso es el foco caliente; y otro para el fango que es el elemento a calentar.

El agua se calienta en una caldera que utiliza como combustible el gas que se produce en la digestión. Siempre interesa que este quemador sea capaz de quemar otro tipo de combustible, como gas natural propano o fuel, pues en el arranque de la instalación no existe gas, y entonces es muy lento alcanzar la temperatura de digestión.

Es frecuente hoy en día que en las estaciones depuradoras se empleen motogeneradores que aprovechando el gas de la digestión produzcan energía eléctrica. En este caso lo que se hace es aprovechar el agua que se emplea para la refrigeración del motor, como fuente caliente para el fango, para ello se emplean bombas que aceleran la circulación del agua dentro del motor, y por el sistema de expansión de gases de dicho motor. Con este sistema puede ahorrarse hasta un 60 % de la energía total consumida en el proceso.

También se han empezado a desarrollarse el sistema de energía solar para el calentamiento de los digestores. En este caso la energía ahorrada dependerá de la localización de la instalación.

El agua caliente que sale de la caldera o de la refrigeración del generador se envía hacia el intercambiador, desde donde vuelve de nuevo a la caldera, a fin de que una vez caliente inicie de nuevo el proceso de calentamiento.

En el digestor la llegada de fango caliente se hace por la solera del mismo, cerca de los equipos de recirculación, a fin de que entre lo más rápidamente en el circuito de mezcla, la salida se hace por la parte superior.

Los intercambiadores de calor tienen la tubería de lodo de un diámetro lo suficientemente amplio a fin de evitar obstrucciones. El agua caliente rodea esta tubería y calienta el fango que va por su interior.

El coeficiente de calor de estas tuberías viene a estar comprendido entre 150 y 1.350 Kcal/h/m<sup>2</sup>/°C, dependiendo de la altura del intercambiador y de la turbulencia que se origine en su interior. En estas unidades hay que cuidar al máximo su diseño, a fin de evitar obstrucciones, por lo que deben ser fácilmente accesibles.

El circuito de agua llevará una válvula que permita controlar el funcionamiento de la instalación de calentamiento. En el caso que la temperatura del fango sea superior a la prevista, se corta la temperatura de agua caliente al intercambiador, recirculándose el agua de nuevo a la caldera. En los arranques y a fin de que no se produzcan saltos bruscos de temperatura entre la entrada y salida de la caldera que puedan originar condensaciones en esta, igualmente se pone en funcionamiento este circuito en cuanto la temperatura decae por debajo de un valor previsto.

Cada digestor va provisto de su unidad de intercambio, y es conveniente cuando existen varias unidades, que haya una de repuesto.

El lodo bruto de llegada a la instalación es conveniente adicionarlo al fango caliente antes de que entre en el digestor, pues en caso contrario pueden originarse bolsas de fango a distintas temperaturas, que darán lugar a un anormal funcionamiento de la digestión.

En cualquier caso la cantidad total de calor a suministrar al sistema será la suma del que hay que añadir al lodo bruto, y del que pierde por radiación a través de las paredes y cubierta del digestor. Estas pérdidas deben reducirse aislando el digestor con algún material aislante.

### **D3- Grado de mezcla y agitación.**

Es importante una buena agitación de la biomasa, ya que en caso contrario se crea una costra en la superficie del cultivo haciendo que la producción disminuya.

Otros factores que hacen necesaria esta agitación son:

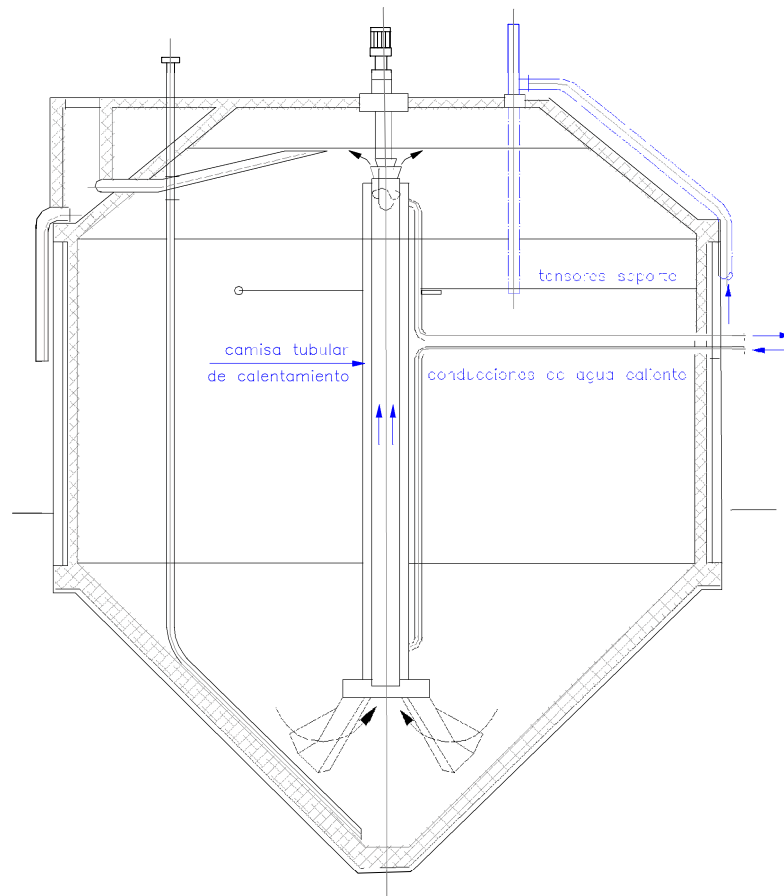
- Homogeneizar el medio con el fin de conseguir una temperatura y concentración uniforme.
- Facilitar los procesos de transferencia de materia, al poner en contacto los sustratos con los flóculos.
- Evitar que no se produzca transformación en el sustrato antes de su salida del digestor.

La agitación se realizará de tal forma que no se rompan las colonias de microorganismos. Esta agitación será menor que en los procesos aerobios, ya que los tiempos de crecimiento de las bacterias metanogénicas son menores y su contacto con el sustrato debe ser mayor.



Los distintos sistemas de agitación son los siguientes:

- Mezcla por grupos motobombas situados en el exterior. En este método existe una relación directa entre el volumen del digestor y el caudal de recirculación de la bomba. Este método nunca puede ir sólo sino que es complementario de otros sistemas de agitación. La descarga se suele hacer dentro del digestor a través de unas boquillas, situadas en el fondo de la parte cilíndrica del digestor. El tiempo que debe tardarse en mover todo el volumen del tanque debe ser inferior a cuatro horas.
- Agitación con paletas rotativas y brazos rompe-espumas. Es un sistema antiguo y su eficacia es discutible. Si es efectivo rompiendo la costra superficial, siempre que esta no sea muy gruesa. No suele emplearse en digestores en caliente, porque no se lograría una buena homogeneización.



- Agitación y recirculación con turbinas. Está especialmente preparada para evitar la formación de espumas en la superficie. Funciona de forma intermitente mezclando el lodo y homogeneizando la temperatura, ayudando al mismo tiempo a que las burbujas de gas encerradas en la masa del lodo se liberen y vayan hacia la superficie. Esta turbina de recirculación se sitúa en el centro del digestor. El rodete de esta bomba es helicoidal y de posición vertical. Se sitúa en la parte superior de un tubo vertical, que arranca desde el fondo del digestor en

sentido ascendente, con lo que se fuerza la recirculación de fango, asegurando la mezcla total. Además se puede invertir el sentido de giro.

- Agitación con gas. El gas que se produce en el digestor y que posteriormente se almacena en el gasómetro, es comprimido e impulsado de nuevo al digestor.

Existen varios métodos, como son:

- a) Inyectar el gas en el fondo del digestor y dentro de un tubo de 300 mm de diámetro. Requiere bajos consumos energéticos, aunque el grado de mezcla no es muy grande.
- b) Inyectar el gas a través de una serie de lanzas suspendidas desde la cubierta, y sumergidas en el fondo lo más posible.
- c) Haciendo salir el gas a través de unos anillos difusores situados en el fondo del digestor.

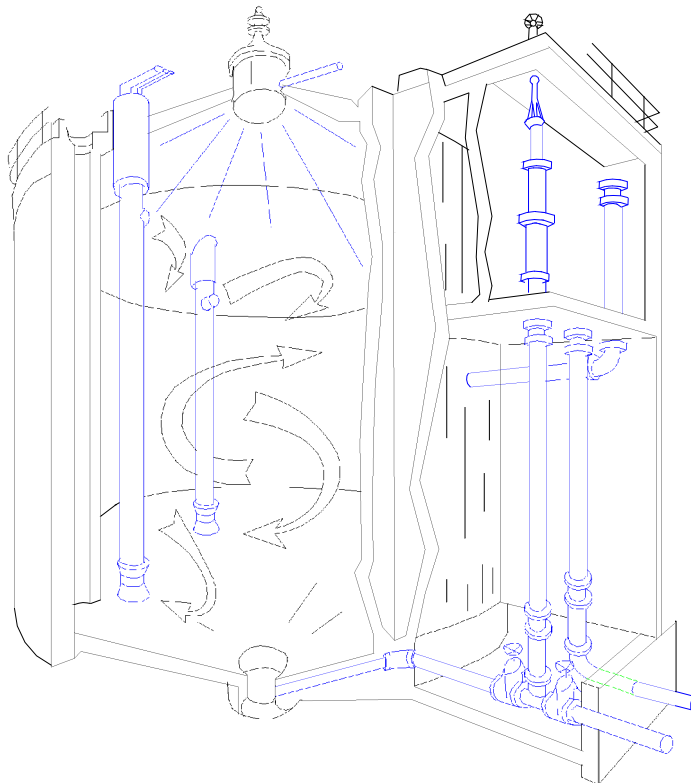
En estos dos últimos casos, la velocidad por la solera del digestor es casi nula, llegando a ser máxima en la superficie. Existe una relación muy directa entre el caudal de gas bombeado y la altura a la que llega la agitación, pudiendo dar lugar a la formación de depósitos en la solera.

En el caso de los difusores, es conveniente prever la posibilidad de inyectar agua a presión a través de ellos, a fin de reducir al mínimo los atascos.

- Heatamix, situado en costado del digestor. En este sistema se combinan al mismo tiempo la agitación y calentamiento del fango. Consiste en un tubo vertical introducido dentro de otro. El fango circula por el tubo interior y el agua por el comprendido entre ambos. El gas se hace llegar a esta unidad bajo presión a través de un anillo situado en la parte

inferior, lo cual produce una succión del fango que entra en el tubo. El fango en su camino ascendente hacia la superficie es calentado, produciéndose una fuerte agitación en su salida a la superficie.

Las ventajas principales de este sistema son: que no existen partes móviles, los problemas de atascamiento son mínimos debido a las amplias secciones de los tubos, y al gran eficacia en el calentamiento.



#### **D4- Nutrientes**

Se debe actuar sobre determinados elementos que son necesarios para el desarrollo de las bacterias, debiendo corregirse si fuera necesario.

En los procesos anaerobios el requerimiento de nutrientes es inferior que en los aerobios, debido a la menor extensión de las reacciones de síntesis celular,

los nutrientes deben de estar en forma fácilmente asimilables por los microorganismos.

En cuanto a los nutrientes, los valores de la relación C/N/P, serán en los procesos anaerobios y aerobios los que siguen:

Anaerobios:            C/N/P = 100/0,5/0,1

Aerobios:              C/N/P = 100/5/1

El déficit en fósforo se consigue añadiendo ácido fosfórico.

#### **D5- Tóxicos**

La digestión anaerobia se inhibe por la presencia de productos tóxicos en el medio, pudiendo alterar e incluso cesar la actividad bacteriana ante determinadas concentraciones de estos residuos.

Algunos de estos tóxicos que nos podemos encontrar son:

- Oxígeno: La entrada masiva de O<sub>2</sub> inhibe el proceso, pudiendo recuperarse por medio de bacterias facultativas.
- Amoníaco (NH<sub>3</sub>): Concentraciones elevadas de esta sustancia, producidas por un exceso de nitrógeno en la biomasa también inhiben el proceso.
- Sales minerales: Un exceso de ellas pueden inhibir el proceso.

También pueden tóxicos para los microorganismos diversas sustancias orgánicas. Se trata de algunos disolventes (alcoholes y ácidos de cadena larga en elevadas concentraciones), los pesticidas y los disolventes.

#### **D6- Tiempo de retención.**

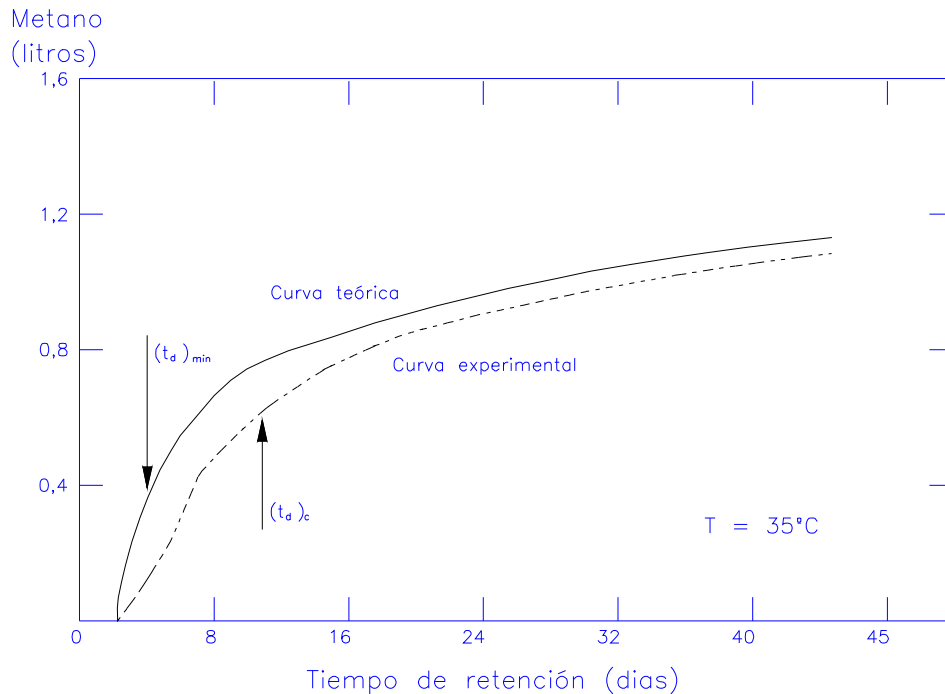
El tiempo de retención hidráulico se define como el volumen total del digestor dividido por el caudal de entrada. El tiempo de retención de sólidos será el tiempo de que la masa de microorganismos permanece retenida en el sistema (volumen del digestor dividido entre la cantidad de sólidos que se extrae diariamente).

Los digestores pueden funcionar con un tiempo de retención hidráulico de aproximadamente 2 días, siempre que el tiempo de retención de sólidos sea superior a un cierto valor crítico.

El tiempo crítico de retención de sólidos es el periodo por debajo del cual se inhibe la digestión, como consecuencia de los gérmenes metálicos indispensables, los cuales tienen un crecimiento muy lento. Por debajo de un tiempo crítico de retención de sólidos de aproximadamente 10 días la producción de metano cae rápidamente, cesando completamente el proceso para 3 o 4 días de tiempo de retención de sólidos (tiempo mínimo de retención de sólidos).

El tiempo necesario para la estabilización de fangos es función de la temperatura de digestión.

En la figura puede observarse el efecto de una disminución del tiempo de retención de sólidos, en un digestor que trabaja a 35° C.



### D7- Concentración de sólidos

El contenido en sólidos de la biomasa a digerir es un factor que influye de manera considerable en el proceso anaerobio. Si la alimentación está muy diluida, los microorganismos no tienen alimento suficiente para sobrevivir. Por el contrario una alimentación muy concentrada reduce la movilidad de las bacterias y, por tanto, la efectividad del proceso, al dificultar el acceso de aquellas a su fuente de alimentación.

El fango puede llegar a contener entre un 1 y un 10 % de sólidos, siendo el resto agua. Dicho fango contiene gran cantidad de materia orgánica biodegradable.

### **D8- Velocidad volumétrica de carga**

Es la cantidad de agua residual que hay que tratar diariamente , si se excede la velocidad prefijada se puede dar una sobrecarga hidráulica que produciría la ruptura del régimen estacionario de funcionamiento y pérdida excesiva de biomasa en el efluente. Para evitar este riesgo se puede colocar un depósito que actúe como amortiguador de los aumentos ocasionales de volumen de agua a tratar.

### **D9- Dimensionado**

El volumen del digestor debe ser el necesario para asegurar que el tiempo de retención es el mínimo imprescindible para obtener el rendimiento de digestión deseado. Hay que tener en cuenta que los tiempos de retención calculados teóricamente son siempre ideales (mezcla perfecta llegada uniforme del influente, temperatura homogénea) y como esto no siempre será así, habrá que aplicar un coeficiente de seguridad a los resultados obtenidos que puede estimarse en 2.5.



## **Parámetros de control**

### **C1- pH**

El mantenimiento de un equilibrio ácido-base (valor de pH) adecuado en una digestión, es uno de los principales problemas que tiene los procesos, debido a la acusada influencia que tiene la acidez del medio sobre la producción de gas, habiéndose encontrado que el rango óptimo de pH es el de 6´6 a 7´6.

El valor de pH no sólo lo determina la producción total de biogás sino, lo que es más importante, su composición de metano, ya que por debajo de un pH de 6,2, la acidez existente en el digestor inhibe fuertemente la actividad de las bacterias metanogénicas y por debajo de un pH de 4´5, la inhibición también afecta a las acetogénicas. Efectos similares se detectan a valores de pH por encima de 8´5.

En consecuencia, para que desarrolle bien el proceso de digestión es necesario mantener el equilibrio entre las actividades de dos poblaciones bacterianas (producción y consumo de ácidos). Esto viene ayudado por la capacidad tampón del fango de digestión.

### **C2- Ácidos grasos volátiles (AGV)**

La concentración de ácidos grasos volátiles, producto de la fermentación, tiene una gran importancia en el proceso de la digestión, pues puede llegar a acidificar el fango provocando el fallo del proceso. Los valores óptimos están comprendidos entre 50 y 500 mg/l como ácido acético, siendo un valor extremo 2.000 mg/l.

Los ácidos a considerar son fórmico, acético, propiónico, butírico y valérico.

El ácido fórmico no puede analizarse como por cromatografía de gases y su actuación no es conocida, aunque se considera como promotor directo de metano. Los ácidos C4 y C5 son malolientes y su presencia es inequívoca en muchas aguas residuales.

Un aumento de la concentración de ácidos grasos volátiles puede venir producido por una sobrecarga de alimentación, o una inhibición de las metano bacterias formadoras de metano.

### **C3- Alcalinidad.**

La mayor parte de la alcalinidad de un fango está formada por bicarbonato amónico, consecuencia de la combinación del amoníaco con el dióxido de carbono producido en la digestión.

Para la obtención una buena capacidad tampón en el sistema, es necesario valores de alcalinidad superiores a 1000 mg CO<sub>3</sub>Ca/l, aunque para tener mayor seguridad se suele trabajar en el rango de 2000-5000 mg CO<sub>3</sub>Ca/l.

La composición del biogás también afecta en la digestión ya que parte del CO<sub>2</sub> que se genera abandonará el proceso en forma de bicarbonato o carbonato.

La alcalinidad del sistema se modificará del mismo modo en presencia de iones capaces de formar sales insolubles, de Ca y Mg fundamentalmente.

### **C4- Ácidos grasos volátiles / alcalinidad.**

La relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad es la clave del funcionamiento óptimo del digestor.

Mientras la cantidad de ácidos grasos volátiles permanezca baja y la alcalinidad alta, se producirá una buena digestión anaerobia de los fangos. Esta relación suele ser generalmente menor que 1 y variará dependiendo de la instalación. Cuando la proporción tiende a aumentar, hay que tomar inmediatamente medidas correctoras. Este es el primer aviso de que se está originando un problema en el digestor. Si no se toman medidas correctoras inmediatamente o estas no son efectivas, aumentará el contenido de CO<sub>2</sub> en el gas, bajará el pH del fango y el digestor se acidificará.

La relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad es un indicador de la capacidad tampón del contenido del digestor. Es deseable una capacidad tampón alta, lo que se consigue si la relación mencionada es baja, es decir cuando los ácidos volátiles son bajos y la alcalinidad es alta (unos 120 mg/l de ácidos volátiles y 2.400 mg/l de alcalinidad). Una alimentación excesiva de fango fresco al digestor, la extracción del fango digerido entre otras cosas puede causar un desequilibrio importante de la proporción ácidos volátiles / alcalinidad.

Cuando la relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad comienza a aumentar es que algo no funciona bien. Si alcanza valores próximos a 0,5/1, (1.000 mg/l de AGV y 2.000 mg/l de alcalinidad), suele ser debido a serios descensos en la alcalinidad. La concentración de CO<sub>2</sub> en el gas del digestor comienza a aumentar en estos valores. Cuando la relación llega a 0`8 o más, el pH del contenido del digestor comienza a descender. Tan pronto como se advierta un aumento de la relación deben tomarse medidas correctoras para evitar que aumenten los problemas y se pierda el control del digestor.

Cuando la proporción empieza a aumentar puede acudir a las siguientes medidas: Aumentar el tiempo de mezclado del contenido del digestor,

mantener el calentamiento más uniforme, y disminuir las extracciones de fangos.

**C5- El potencial redox.**

La digestión de fangos es una reacción bioquímica compleja, en la que intervienen multitud de reacciones de oxidación-reducción. Por lo tanto y puesto que, en una reacción de oxidación-reducción existe una transferencia de electrones, es posible hacer estudios cuantitativos del estado de dicho sistema biológico.

Para demostrar la importancia de dicho parámetro, Dirisian, modifica electrolíticamente el potencial redox del fango y estudia los efectos producidos sobre la digestión. Por otra parte y sin manipular artificialmente el potencial, modifica la carga orgánica de alimentación del digestor hasta llegar al fallo del sistema, midiendo a la vez el potencial y lo relaciona con el estudio anterior.

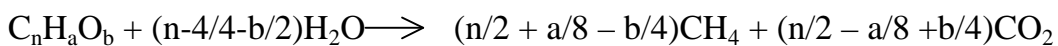
A partir de dicha investigación llega a las siguientes conclusiones:

Potencial (en mV)	Tipo de Digestión
-520 a -530	Óptima
-510 a -540	Buena
-485 a -555	Justa a pobre
Fuera del límite anterior	No posible

**C6- Producción de biogás.**

Además de parámetro de control, la producción de biogás también se utiliza para establecer la estabilidad del digestor.

En un digestor estable, la producción de biogás a través de un sustrato de composición media  $C_nH_aO_b$ , podrá obtenerse de forma aproximada a partir de la siguiente expresión:



Este sustrato no será digerible totalmente y por tanto no se transformará en metano. Las variaciones producidas en la cantidad de  $CO_2$  producida serán síntomas claros de la inestabilidad del sistema.

La cantidad de metano que puede producir la biomasa y el rendimiento del digestor puede calcularse mediante la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

**Nota:** La DQO de un residuo se define como la cantidad de oxígeno necesaria para quemar todo el metano producido por su descomposición.

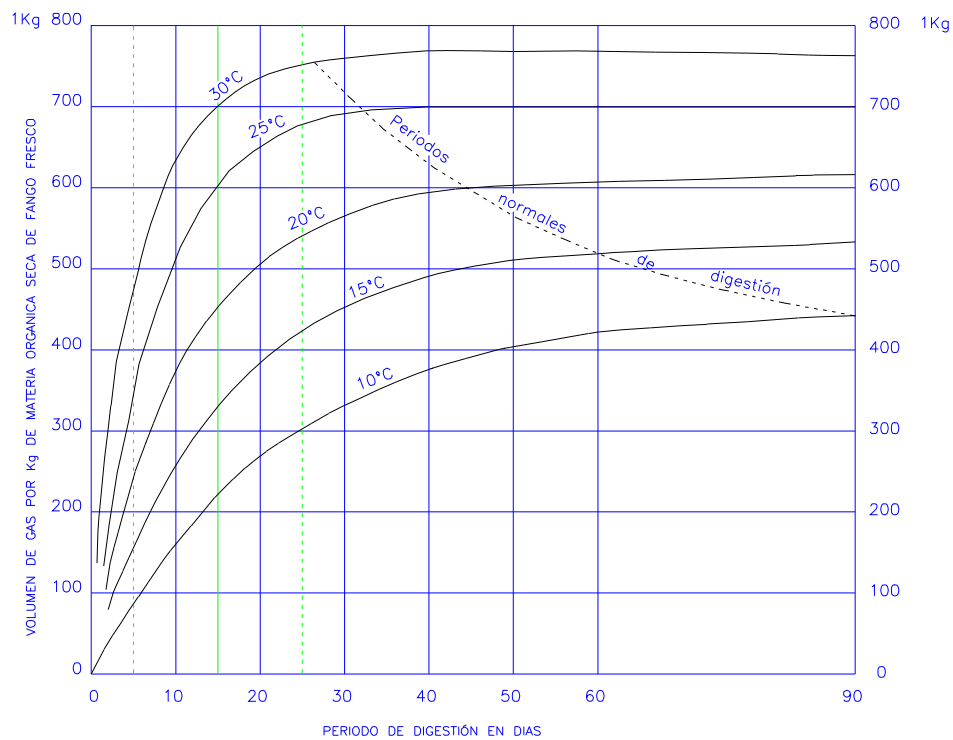
La composición del biogás es muy variable ya que depende del sustrato de partida, las condiciones del proceso (la temperatura, velocidad de alimentación, tiempo de retención y tipo de digestor). En la siguiente tabla podrá observarse la variabilidad de la composición del biogás:

COMPONENTE	% EN VOLUMEN
Metano (CH <sub>4</sub> )	50-70
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30-50
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	<3,0
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	<0,1
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	1-10
Sulfuro de hidrógeno (SH <sub>2</sub> )	trazas

En la tabla que viene a continuación podrá verse así mismo la producción de metano en distintos sustratos en condiciones mesofílicas:

TIPOS DE BIOMASA	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS (m <sup>3</sup> /Kg SV)	CONTENIDO EN METANO(%)
Lodos de depuradora	0,323	79
Residuos urbanos	0,813	62
Residuos de mataderos	0,627	75
Lodos de papeleras	0,333	60
Residuos cerveceros	0,573	77
Estiércol de vacuno	0,320	79
Estiércol de cerdo	0,347	81
Estiércol de caballo	0,533	75
Paja de trigo	0,467	57
Hojas de patatas	0,707	56

En la figura puede observarse la variación que se produce en la composición del biogás según el tiempo y la temperatura.



## **TIPOS DE REACTORES.**

La velocidad de carga orgánica máxima ( $\text{Kg DQO/m}^3 \text{ d}$ ) de un proceso anaerobio está limitada por la concentración y actividad de los microorganismos implicados en los mecanismos bioquímicos de degradación de la materia orgánica.

Puestos que estos microorganismos y en particular los que convierten  $\text{CO}_2 + \text{H}_2$  y ácido acético en metano, poseen una baja velocidad de crecimiento (tiempo necesario para doblar su masa), la retención de biomasa activa es la clave de la operación de los reactores anaerobios avanzados que permiten operar con bajos tiempos de retención de sólidos.

Las técnicas empleadas de retención de microorganismos en el reactor son:

- Separación externa y recirculación.
- Sedimentación interna
- Inmovilización sobre superficies sólidas.

Cabe destacar los siguientes tipos de reactores:

*Con biomasa no soportada:*

- Digestor discontinuo convencional
- Reactor de mezcla continua
- Reactor de contacto
- Reactor de lecho suspendido (UASB)



- Reactor Secuencial Batch (SBR)

*Con biomasa soportada:*

- Filtro anaerobio (AF)
- Película fija
- Reactor de lecho móvil
- Reactor de lecho fluidizado
- Reactor de lecho expandido
- Reactor de contacto con material soporte

*Reactores híbridos:*

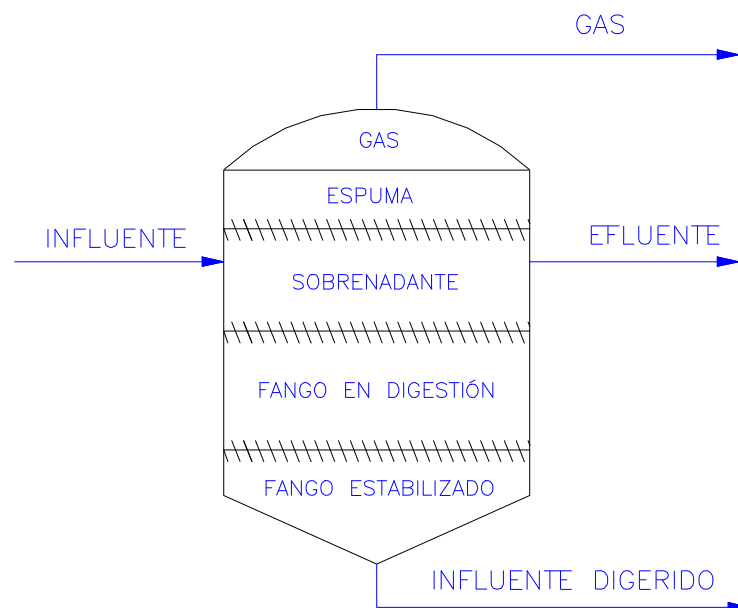
- UASB + Filtro
- UASB granular expandido

### **Digestor discontinuo convencional.**

Este sistema es el más simple. La alimentación es intermitente y el contenido del digestor ni se calienta ni se mezcla.

Este procedimiento no permite controlar las variables del proceso pero su funcionamiento es muy sencillo: el material fresco a digerir se introduce en el digestor junto con el inóculo, que puede ser una parte del residuo de una operación anterior, y se cierra.

En estas condiciones se inicia la digestión, que se mantiene por un periodo de tiempo bastante largo (40 a 100 días). Cuando la producción de gas termina se abre el digestor y se descarga, para empezar una nueva operación con fango fresco. El gas se recoge en una campana flotante en el mismo digestor o en un deposito aparte.



Los parámetros más usuales de esta operación son los siguientes:

Densidad de carga orgánica (Kg DQO/m<sup>3</sup>/d): 0,4-1,6

Tiempo de retención hidráulico (d): 30-60

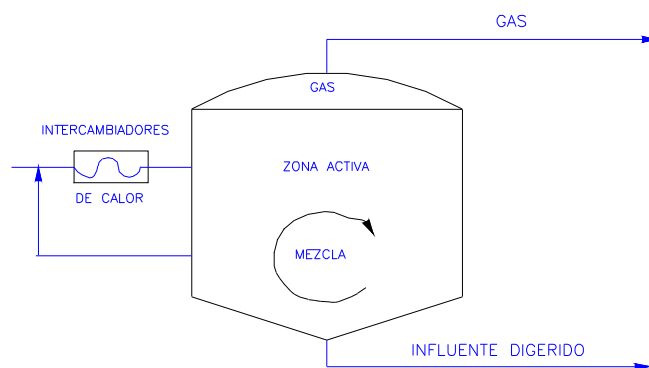
**Reactor de mezcla continua.**

- **En una etapa:** Este reactor lleva un sistema de calentamiento de la mezcla y la alimentación entra en el digestor de forma continua reduciéndose con ello el volumen de digestión. Estos reactores operan sin recirculación de parte del influente ingerido.

En este tipo de reactores el TRH es igual al TRS.

El inconveniente que presentan estos digestores es que requieren largos TRH, ya que carecen de medios específicos de retención de la biomasa. Los TRS mínimos son de 3 a 5 días a 35° C. Para asegurar el funcionamiento del proceso los TRH suelen variar entre 10 y 30 días.

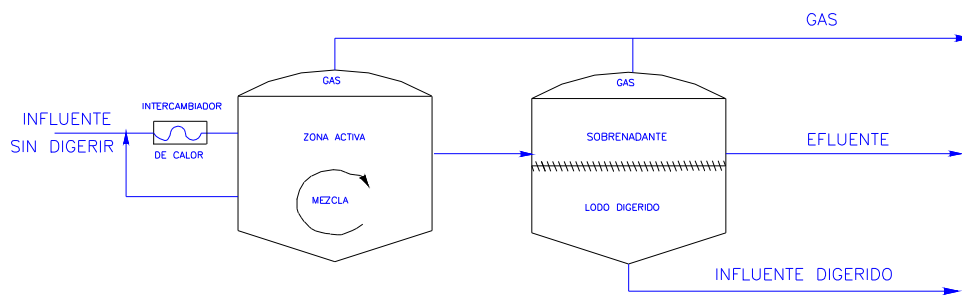
El tiempo de arranque suele oscilar entre 30 y 90 días.



- **En 2 etapas:** El digestor de mezcla completa puede llevar acoplado un segundo tanque de digestión, con la diferencia que este segundo digestor no lleva equipos de agitación y calentamiento.

La misión de estos digestores secundarios es la siguiente:

- a) Espesar el influente digerido.
- b) Servir de reserva al digester primario, lo que obliga poner equipos de calentamiento y mezcla.
- c) Almacenar el influente digerido.
- d) Constituir un margen de seguridad para evitar la fuga de influentes no digeridos y reducir gérmenes patógenos.



### **Reactor de contacto.**

Fue el primer reactor con retención de biomasa que se diseñó y utilizó sistemáticamente.

El volumen del digester se reduce y la densidad de carga orgánica o la velocidad de carga orgánica a tratar se incrementa.

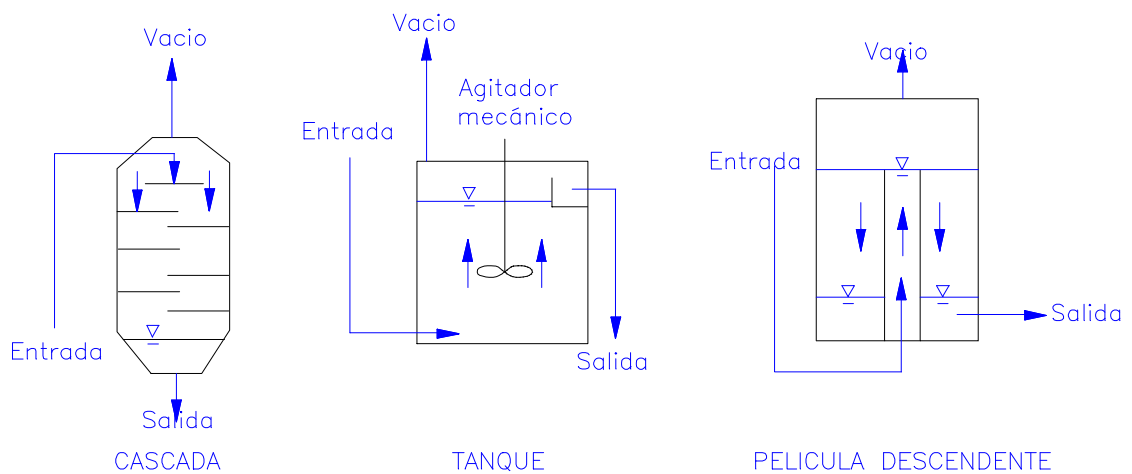
Es un reactor de tanque agitado en el que el arrastre de biomasa activa se controla por un separador y recirculación de fangos.

Las principales diferencias entre los diferentes modelos de reactor de contacto anaerobio son las siguientes:

- Forma de mezclar en el interior del reactor.
- Unidad de desgasificación.
- Tipo de sedimentador.

La mezcla puede realizarse mediante agitación mecánica o por recirculación de gas. La agitación es necesaria para obtener un buen contacto entre la biomasa y el sustrato, para prevenir cortocircuitos en el interior del digestor y para reducir la aparición de regiones con espacios muertos.

Las unidades de desgasificación más frecuentemente utilizadas son las siguientes:



En este sistema es necesario un buen funcionamiento de la separación sólido-líquido, ya que esta puede ser dificultosa debido al gas asociado a los lodos.

El uso de técnicas de stripping o el enfriamiento del efluente digerido en su camino hacia el sedimentador puede disminuir este problema. Una disminución de la temperatura de 35 a 15 °C define la producción de gas en el decantador y favorece la floculación de los sólidos.

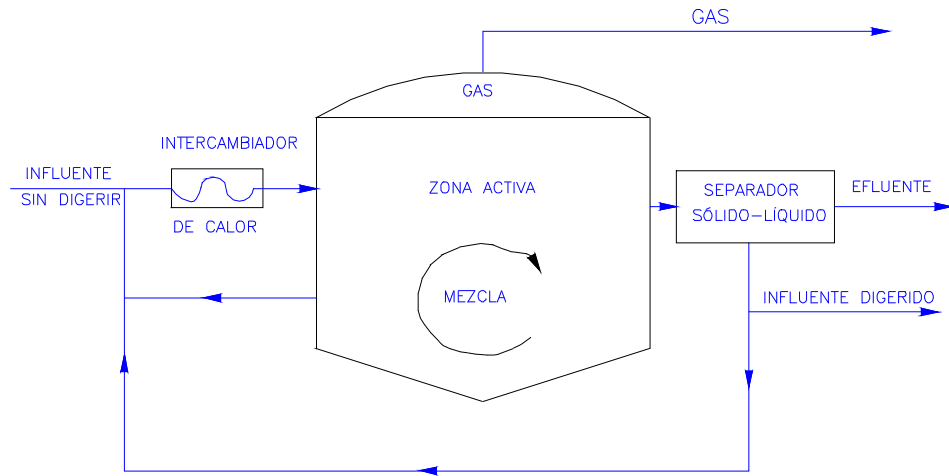
Para facilitar la separación de los lodos del efluente se han utilizado varios métodos. Decantación, decantación-floculación química, flotación, centrifugación y procesos de membrana.

Este proceso está especialmente indicado para el tratamiento de efluentes con cantidades apreciables de sólidos, lentamente digeribles, que sedimenten con facilidad o que se adhieran fácilmente a sólidos sedimentables. Estos sólidos permanecen en el digester durante periodos superiores al TRH, por lo que son fácilmente degradados.

Los parámetros típicos de operación de este proceso son:

- Densidad de carga orgánica (Kg DQO/m<sup>3</sup>/d): 1-6
- Tiempo de retención hidráulico (d): 5-10
- Concentración de lodos en el interior (Kg SSV/m<sup>3</sup>): 5-10
- Concentración de lodos en el efluente (Kg SS/l): 0,5-20

- Tiempo de arranque (d): 20-60



Un esquema del proceso será el siguiente:

### Reactor de lecho suspendido (UASB)

Su fundamento es la obtención de flóculos bacterianos cuyas buenas características de sedimentación impidan su arrastre fuera del reactor. La etapa de arrastre es crítica en la consecución de flóculos adecuados.

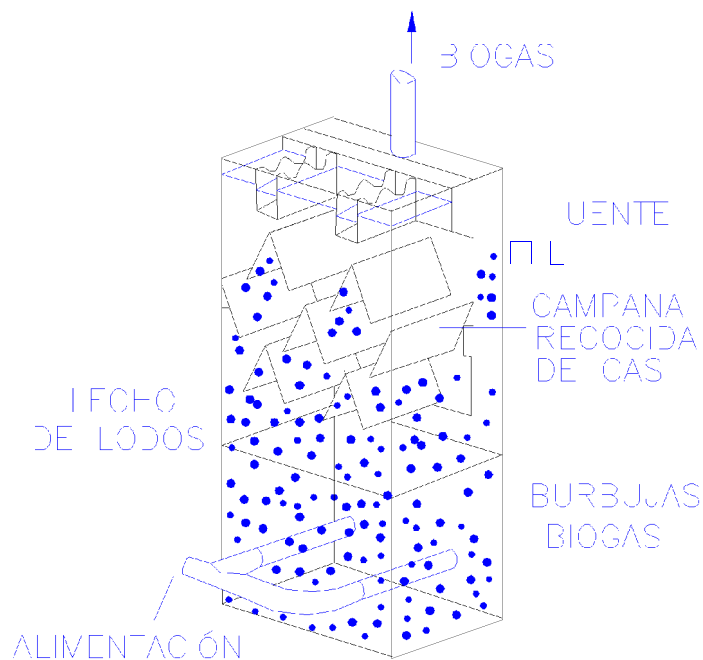
Después de uno o dos meses de funcionamiento se forman flóculos de tamaño considerable. Sobre este lecho de fangos se desarrolla otro lecho formado por gránulos más pequeños, flóculos o burbujas de gas y se encuentra estratificado, siendo más denso y con gránulos más grandes en su zona inferior y más pequeño y con gránulos más pequeños en su zona superior.

Según las condiciones hidráulicas y el sustrato utilizado se puede formar un lodo granulado con muy buenas características de sedimentación y alta actividad metanogénica, que favorece la retención de biomasa.

Las proteínas pueden causar espumas dependiendo de la concentración de los otros compuestos presentes, de la temperatura, carga, adaptación de los lodos, tanto el granular como el flocculento. El material particulado no afecta demasiado al lodo granular, el coloidal puede hacer caer la actividad del lodo a altas cargas y los sólidos en suspensión voluminosos pueden llevar al lavado del lodo.

El sistema de recogida de gas-líquido-sólido impide la fuga de flóculos de pequeño tamaño que ascienden adheridos a burbujas de gas.

El sistema de sedimentación-desgasificación corresponde al esquema siguiente:





Este separador gas-sólido se comporta en realidad como un sedimentador interno y permite que el reactor opere abierto a la atmósfera.

El sistema de distribución del influente en la base del reactor es otra de las claves de operación y en reactores de gran volumen puede ser limitante. El número de puntos de entrada varía entre 1 y 4 por metro cuadrado en la base del tanque, en función del tipo de influente y de la carga orgánica aplicada.

Es deseable que el influente este exento de sólidos no degradables.

Los parámetros de operación más característicos son:

- Densidad de carga orgánica (Kg DQO/m<sup>3</sup>/d): 5-30
- Tiempo de retención hidráulico (d): 2-0,2
- Concentración de lodos (g SV/l): 10-60
- Tiempo de arranque (d): 30-90
- Carga orgánica influente (mg DQO/l): 300-80.000

### **Reactor Secuencial Batch (ASBR)**

El digester anaerobio Secuencial Batch (ASBR) opera en un régimen intermitente de llenado y vaciado. El sistema alterna condiciones de alta carga y de baja carga.

La condición de alta carga consigue que altas proporciones de sustrato se conviertan a biogás. La baja concentración de sustrato cerca del fin de la secuencia de reacción, consigue que se den unos eficientes resultados de biofloculación y separación de sólidos.

Las etapas de cada secuencia son las siguientes: Colonización, decantación, alimentación y reacción. El ASBR puede ser secuenciado tan frecuentemente como sea posible dentro de las limitaciones de suministrar las necesarias paradas, decantaciones, alimentaciones y tiempos de reacción.

Durante la etapa de parada, la agitación es interrumpida comenzando la separación de la biomasa sólida. El reactor actúa aquí como el clarificador. El tiempo requerido para la clarificación variará dependiendo de la capacidad de colonización de la biomasa, pero oscila entre periodos de 10 minutos y 1 hora.

Desde el punto de vista operacional, es esencial que la capa de fango este bajo una predeterminada elevación de decantación y la capa que no asciende convenientemente, acumula biogás dentro de la biomasa.

La frecuencia de secuenciación y el volumen de alimentación tratado con cada secuencia determina la carga hidráulica. La concentración de sólidos en suspensión en la mezcla licor (MLSS) en el reactor es una variable importante que afecta a la velocidad de deposición de la biomasa.

La etapa de decantación tiene lugar después de que haya ocurrido una suficiente separación de sólidos. El volumen decantado es normalmente igual al volumen alimentado en la etapa de alimentación. El tiempo de decantación es gobernado por el volumen total que decanta en cada ciclo y el porcentaje de decantación.

Una vez que transcurre la etapa de decantación comienza la etapa de alimentación. En la etapa de alimentación, se adiciona sustrato al digestor. La mezcla se efectúa de forma continua durante la alimentación, incrementándose la concentración de sustrato rápidamente. El volumen de alimentación es determinado por un número básico de factores como son: TRH, carga orgánica, y características colonizadoras del fango.

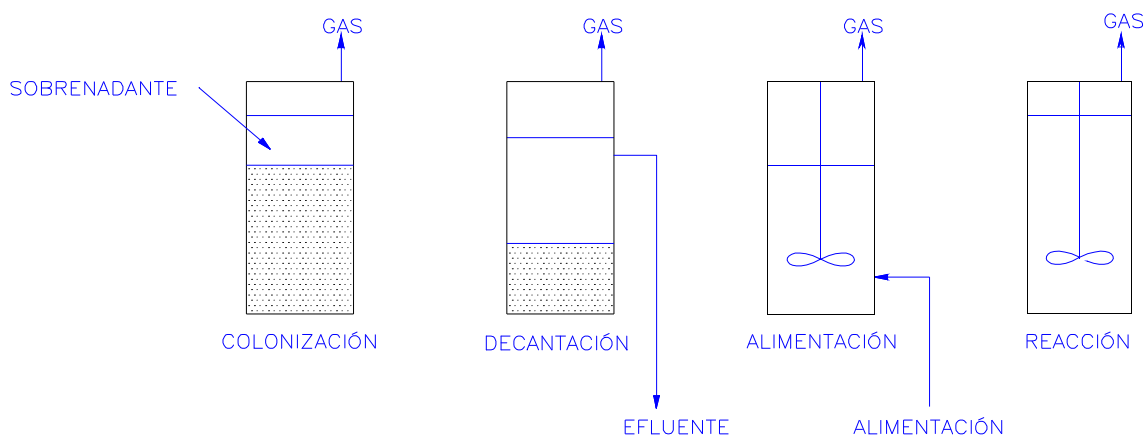
La etapa de reacción es la más importante en la conversión de la materia orgánica en biogás. El tiempo requerido para cada etapa de reacción depende de múltiples factores, como pueden ser: características del sustrato, requeridas cualidades del efluente, concentración de biomasa y temperatura del residuo.

La configuración del reactor es significativa en el desarrollo de los gránulos de fango. Los reactores relativamente altos y delgados suelen formar gránulos mejores que los bajos y anchos. Algunas veces los reactores más cortos son capaces de acumular concentraciones mayores de la biomasa que en los reactores altos.

La mezcla intermitente es más eficiente que la mezcla continua desde el punto de vista de reducción de la DQO y producción de metano.

Las etapas de estos reactores serán controladas según la producción de gas metano, alimentándose el digestor cuando comienza a descender.

Un esquema del proceso podría ser:



### **Filtro Anaerobio (AF)**

El filtro anaerobio es un reactor de lecho fijo, directamente relacionado con los filtros biológicos.

Aunque el flujo de líquido puede ser ascendente o descendente, la tecnología ascendente es la más consolidada.

La retención de la biomasa se consigue utilizando un material de relleno sobre el que se adhieren los microorganismos. Como se adhieren los microorganismos. Como relleno se han utilizado gran variedad de materiales: cantos rodados, caliza, ladrillo y una especie de anillos plásticos, que proporcionan multitud de canalillos y gran área superficial.

La mayor parte de la biomasa activa se encuentra en suspensión entre los espacios vacíos del soporte, y una cantidad menor adherida a la superficie del mismo. Aunque el tipo de material de relleno y su superficie específica no parece jugar un papel especial en la marcha del proceso, su geometría puede determinar la eficacia del proceso.

En este proceso, el propio relleno actúa como separador de gas, proporcionando zonas de reposo para la sedimentación de los fangos que se encuentran en suspensión. El reactor es en gran medida un reactor de fangos suspendidos y el sistema de distribución de líquido en la parte inferior del reactor es crítico para la obtención de un comportamiento óptimo.

Los reactores suelen ir provistos de un sistema de recirculación del líquido tratado. El empleo de recirculación puede ser crítico en la fase de arranque.

En el funcionamiento del reactor interfieren los sólidos suspendidos inertes y los digeribles que sedimentan rápidamente, y que se acumulan en los espacios intersticiales. Esta acumulación, la dispersión hidráulica, acción de mezcla de

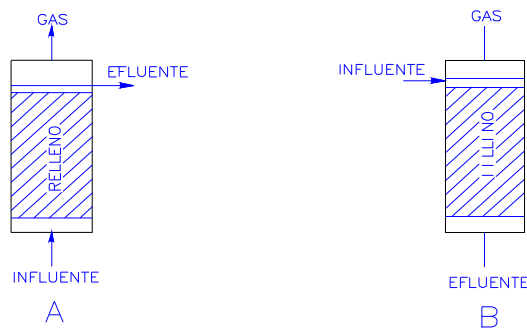
las burbujas de gas ascendente y otros factores físicos son los causantes de cortocircuitos y de la desviación de flujo ideal.

La mayoría de los reactores que se instalan en la actualidad con esta tecnología son de tipo híbrido.

Las características típicas de los filtros anaerobios son:

- Densidad de carga orgánica (Kg DQO/m<sup>3</sup>/d): 1-12
- Tiempo de retención hidráulico (d): 3-0,75
- Concentración de lodos (g SV/l): 10
- Tiempo de arranque (d): 30-60
- Carga orgánica influente (mg DQO/l): 400-30.000

Un esquema del proceso puede ser:



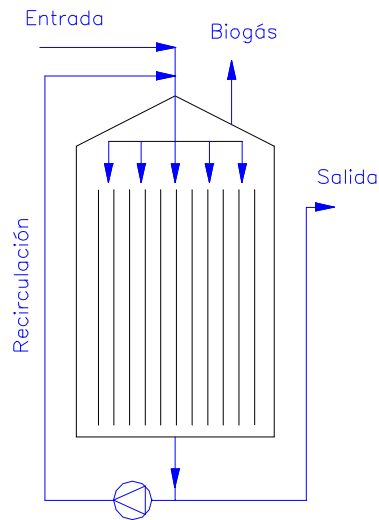
### **Reactor de película fija**

Este reactor es en realidad un filtro anaerobio con el relleno orientado, para impedir la colmatación. Las bacterias se adhieren y crecen sobre tubos de sección circular.

Aunque inicialmente se utilizaron flujos ascendentes y descendentes en la práctica, el flujo descendente ofrece mejores características de operación. Conviene destacar que:

- Los flujos de líquido y de gas se producen en contracorriente, lo facilita la transferencia de materia.
- No se precisan sistemas sofisticados de distribución de líquido.
- Los sólidos suspendidos no se acumulan en el reactor sino que se arrastran con el efluente.

La carga orgánica admitida y el espesor de la película dependen de la característica de la superficie del tubo y de la composición del agua a tratar. El espesor efectivo de la película está limitado por fenómenos de difusión. El área específica se limita a  $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , ya que los canales pueden tener un diámetro mínimo para impedir que se llenen completamente con la película.



Un esquema de este reactor será el siguiente:

### **Reactor de lecho móvil**

Este reactor es bueno para aguas residuales industriales, ya que se asegura un amplio rango de tolerancia a fluctuaciones en las condiciones de operación.

Los microorganismos se fijan al medio inerte, que ahora es un plástico móvil a través de los lodos o de las aguas negras.

Un ejemplo de este tipo de digestores es el reactor de disco rotativo, en el cual el medio puede ser sumergido parcial o totalmente.

La velocidad entre el medio y las aguas negras, adopta el papel de control de la biopelícula, a la vez que las aguas negras tratadas junto con el exceso de lodos abandonan el reactor.

### **Reactor de lecho fluidizado**

En este tipo de reactores, los microorganismos se adhieren al medio inerte del soporte, que puede ser arena o grava.

El medio, que es fluidizado, está cubierto con una biopelícula, se expande debido a una velocidad vertical alta, obtenida por un alto grado de recirculación.

La expansión del lecho es controlada por una velocidad vertical y el nivel de salida. La producción de gas puede crear espumas y flotación en la cabeza del digester, condiciones indeseables, que se deben controlar por medios hidráulicos o mecánicos con el fin de impedir el escape de las partículas junto el líquido tratado.

La cantidad de soporte añadido es alrededor del 10% del digester.

Las partículas empleadas en el reactor son muy pequeñas (0,2-1 mm), por lo que obtienen áreas específicas muy altas (2000-5000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>). En consecuencia el espesor de la capa activa de la biomasa es pequeño, inferior a 1 mm, por lo que evitan las limitaciones difusionales.

Eligiendo partículas de diámetro y densidad adecuadas, se consiguen elevadas cantidades de sedimentación de las biopartículas que constituyen el lecho (50 m/h). Esto permite mantener una suspensión concentrada de biomasa aunque la velocidad superficial del líquido sea muy alta. Para conseguir las elevadas velocidades necesarias, es necesario operar con grandes volúmenes de recirculación por lo que la concentración de agua residual a tratar tiene relativamente poca importancia. El comportamiento del reactor de lecho expandido depende en gran medida de la buena distribución de flujo a la entrada, sobre todo en los reactores de gran diámetro.



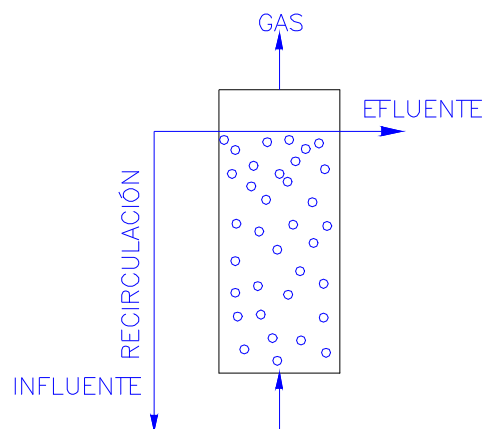
El agua residual susceptible de ser tratada por este proceso, deberá tener materia orgánica disuelta o sólidos suspendidos fácilmente degradables.

La principal limitación del proceso radica en la necesidad de mantener un flujo ascensional elevado y uniforme, que implica un consumo de energía mayor, por lo que el rendimiento energético es menor que en otros reactores.

Para este reactor, los parámetros de operación utilizados han sido los siguientes:

- Densidad de carga orgánica (Kg DQO/m<sup>3</sup>/d): 10-40
- Tiempo de retención hidráulico (h): 10-2
- Concentración de lodos (kg SSV/l): 10-40
- Tiempo de arranque: 2-3 meses

Un esquema de este reactor será:



### **Reactor de lecho expandido**

En este tipo también los microorganismos se adhieren al medio inerte soporte, que puede ser arena, grava, antracita o plástico. El diámetro de los granos es comparable al del usado en los lechos fluidizados, pero con frecuencia ligeramente más gruesa.

El medio cubierto por la biopelícula se expande debido a una velocidad vertical suficientemente alta (2-10 m/h), obtenida por un alto grado de reciclado. La expansión del lecho se mantiene en un nivel donde todas las partículas guardan todavía un nivel dentro del lecho.

La cantidad añadida es alrededor del 10% del volumen del digestor y el diámetro de las partículas es de 0,3 a 30 mm

Los parámetros típicos de operación en este proceso son:

- Densidad de carga orgánica (Kg DQO/m<sup>3</sup>/d): 5-50
- Tiempo de retención hidráulico (d): 1-10
- Concentración de lodos (g SSV/l): 10-30
- Concentración en el efluente (g SS/l): 0-5
- Tiempo de arranque (d): 30-70

La mayor parte de las ventajas atribuibles a este sistema derivan de la elevada concentración de biomasa activa sobre las partículas de soporte y las elevadas tasas de recirculación, lo que hace al digestor menos sensible a componentes tóxicos del influente.

### Reactor de contacto con material soporte (CASPER)

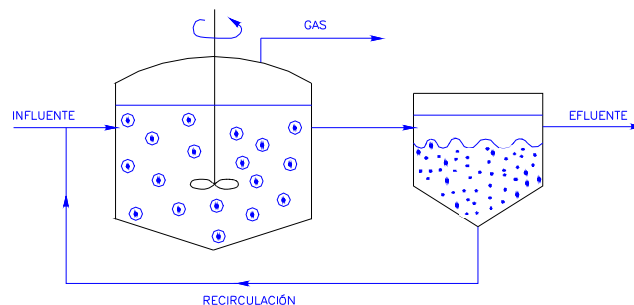
Este proceso es prácticamente idéntico al contacto interno; la adición de material soporte es muy limitada. El tamaño de las partículas oscila entre 5 y 25 micrómetros, tienen baja velocidad de sedimentación y pueden mantenerse en suspensión con bajo grado de agitación.

Un pequeño porcentaje de bacterias es soportada por estas partículas mientras un alto porcentaje de biomasa activa permanece como flóculos en suspensión. La fase principal del proceso es la separación sólido / líquido.

Los parámetros típicos de este proceso son:

- Densidad de carga orgánica (Kg DQO/m<sup>3</sup>/d): 4-25
- Tiempo de retención hidráulico (d): 0,25-2
- Concentración de lodos (g SSV/l): 5-15
- Concentración en el efluente (g SS/l): 0,5-10
- Tiempo de arranque (d): 20-60

Un esquema del reactor será:



## **FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE DIGESTORES**

- Puesta en marcha
- Control del digestor
- Precauciones y mantenimiento del sistema de digestión

### **Puesta en marcha**

Cuando se añaden por primera vez los sólidos de las aguas residuales a un digestor nuevo, las bacterias existentes comen el alimento disponible de más fácil digestión, como el azúcar, los almidones y el nitrógeno soluble. Las formadoras de ácido transforman esos alimentos en ácidos orgánicos, alcoholes y anhídrido carbónico, junto con algo de ácido sulfhídrico. El pH del medio desciende de 7 a 6, o menos. Comienza entonces una etapa de regresión ácida que dura de 6 a 8 semanas. Durante este tiempo se forman los compuestos amoniacales y bicarbonatos y el pH aumenta gradualmente hasta cerca de 6,8 otra vez, estableciendo un medio ambiente apropiado para la fase de fermentación de metano o fermentación alcalina. Hay ácidos orgánicos disponibles para alimentar los fermentos de metano. Se producen grandes cantidades de gas metano y de anhídrido carbónico y el pH aumenta hasta 7 y 7.2. Una vez que esté bien establecida la fermentación alcalina, hay que esforzarse en mantener el pH del fango en digestión en el margen de 7 a 7.2.

Si se añade demasiado fango fresco al digestor, predominarán los fermentos ácidos, haciendo disminuir el pH y creando una condición poco favorable para los fermentos de metano. El digestor se volverá a acidificar. Cuando un digestor se recobra de una situación ácida, suele ser muy rápida la descomposición de los ácidos volátiles y la formación de metano y anhídrido

carbónico. Entonces el digestor puede producir espuma, empujando los sólidos de las aguas a través de los cierres de agua y de las tuberías de gas, dando lugar a un serio problema operativo. Un digestor acidificado tarda en recuperarse de 12 a 30 días.

El modo más sencillo de poner en funcionamiento un digestor es con fango de reserva (material digestor muy activo) ,de otro digestor. La cantidad de este fango a utilizar como fermento depende de factores como el procedimiento de mezclado, las dimensiones del digestor, y las características del fango, pero se utilizan cantidades que oscilan entre un 10 y un 50 por ciento de la capacidad del digestor.

Durante la puesta en funcionamiento se pueden producir grandes cantidades de espumas por la formación masiva de gas, durante la etapa de regresión ácida. La creación de espumas es el resultado de la producción activa de gas mientras la separación de los sólidos no ha progresado bastante (digestión insuficiente). Las espumas se incrementan durante la puesta en funcionamiento debido a la sobrealimentación. La formación de espumas se puede evitar por medio del mezclado adecuado del contenido del digestor, antes de que empiece el fenómeno. Las bacterias pueden empezar a trabajar con mucha rapidez, cuando tienen el medio ambiente apropiado. Casi en una noche pueden generar el gas suficiente para crear una mezcla terrible de espuma negra y fango. La espuma no sólo tapona los sistemas de tuberías, sino que puede ejercer presiones excesivas sobre la cubierta del digestor, ocasionar problemas de olores y manchas.

El mejor método para controlar la formación de espumas es agitar el contenido del tanque con suavidad, para permitir que el gas salga de la masa y, a ser posible, no alimentar el digestor hasta que haya disminuido la espuma.

Cuando se pone en funcionamiento un digestor por primera vez, se producen gases muy malolientes, por la presencia de algunos compuestos del nitrógeno y del azufre, como escatol, indol, mercaptanos y sulfhídrico. Muchos de estos gases también se producen durante el proceso normal de digestión pero en tan pequeñas proporciones que quedan enmascarados por el anhídrido carbónico y el metano.

Durante la primera fase de la puesta en funcionamiento del digestor, la mayor parte del gas es anhídrido carbónico y sulfhídrico. Esta combinación no arde y por consiguiente se deja escapar libremente a la atmósfera. Cuando comienza la fermentación del metano y el contenido llega alrededor del 60% el gas puede arder. La producción de metano podría predominar eventualmente, generando un gas con un 65% a un 70% de metano un 30% de anhídrido carbónico en volumen. El gas del digestor arderá cuando contenga un 56% de metano, pero no será utilizable como combustible hasta que el contenido de metano se aproxime al 62%.

### **Control del digestor**

Para el control de la temperatura, normalmente se instala un termómetro en la tubería de recirculación de fango del digestor al cambiador de calor. Este termómetro medirá con exactitud la temperatura del contenido del digestor cuando la circulación sea desde el fondo hasta la parte superior. La temperatura del digestor debe registrarse y mantenerse, para la digestión mesófila, entre los 29 33°C. Esta temperatura no debe variar más de 1 grado por día. También se pueden tomar lecturas exactas de temperatura en la tubería del sobrenadante o en la tubería de entrada del fango al intercambiador

de calor. Debe mantenerse la misma temperatura en todos los niveles del tanque.

La relación ácidos volátiles / alcalinidad es la clave del funcionamiento óptimo del digestor.

Mientras la cantidad de ácidos volátiles permanezca baja y la alcalinidad alta, se producirá una buena digestión anaerobia. Cada instalación de tratamiento tiene un valor característico de esta relación, para el cual se logra la digestión de efluente más completa (generalmente menor de 1). Cuando la proporción tiende a aumentar, hay que tomar inmediatamente medidas correctoras. Este es el primer aviso de que se está originando un problema en el digestor. Si no se toman medidas correctoras inmediatamente o éstas no son efectivas, aumentará el contenido de anhídrido carbónico en el gas, bajará el pH del líquido en digestión y el digestor se acidificará.

Un buen procedimiento de control consiste en medir la relación ácidos volátiles / alcalinidad al menos dos veces por semana, dibujar la curva de variación de esta relación en función del tiempo y observar si se producen evoluciones perjudiciales. Siempre que suceda algo fuera de lo corriente, como un aumento de la carga de sólidos con incremento de las descargas de aguas residuales, o una tormenta, debe vigilarse con atención la relación ácidos volátiles / alcalinidad.

La relación ácidos volátiles / alcalinidad es un indicador de la capacidad tampón del contenido del digestor. Es deseable una capacidad tampón alta, lo que se consigue si la relación mencionada es baja, es decir cuando los ácidos volátiles son bajos y la alcalinidad es alta (unos 120 mg/l de ácidos volátiles y 2.400 mg/l de alcalinidad). Una alimentación excesiva de fango fresco al digestor, la extracción del fango digerido, o una carga de choque como la

causada por una tormenta que limpie el sistema de colectores, puede desequilibrar la proporción ácidos volátiles / alcalinidad.

Cuando la relación ácidos volátiles / alcalinidad comienza a aumentar es que algo no funciona bien. Si alcanza valores próximos a 0,5, (1.000 mg/l de ácidos volátiles y 2.000 mg/l de alcalinidad), suele ser debido a serios descensos en la alcalinidad. La concentración de anhídrido carbónico en el gas del digestor empieza a aumentar en estos valores. Cuando la relación llega a 0,8 o más, el pH del contenido del digestor comienza a descender. Tan pronto como se advierta un aumento de la relación deben tomarse medidas correctoras para evitar que aumenten los problemas y se pierda el control del digestor.

Cuando la proporción empieza a aumentar puede acudir a las siguientes medidas: aumentar el tiempo de mezclado del contenido del digestor, mantener el calentamiento más uniforme, y disminuir las extracciones de fangos. Si es posible, bombear parte del fango concentrado del digestor secundario, para ayudar a equilibrar la proporción. Todas estas variaciones deben ser lentas.

El análisis de los gases de digestión y el pH aportan datos complementarios que ayudan a conocer el estado del digestor, pero no hay que olvidar que la relación ácidos volátiles / alcalinidad empieza a cambiar antes que estos otros parámetros. En condiciones normales, el CO<sub>2</sub> debe estar entre el 25 y el 35% del gas producido y el pH debe ser superior a 7,0. También la producción de gas bajará cuando el digestor deje de funcionar adecuadamente.

La recuperación de un digestor acidificado se puede acelerar por medio de la neutralización de los ácidos con sustancias alcalinas como la sosa cáustica.



El transporte de fango del digestor secundario tiene la ventaja de que no se añade nada extra al sistema, que no estuviera ya allí en una etapa anterior, y que si se usa adecuadamente, reducirá tanto la carga del efluente como el problema del manejo de los sólidos.

Si la capacidad del digestor y el tiempo de recuperación disponible son lo suficientemente grandes, es quizás preferible reducir la carga mientras se calienta y mezcla, para provocar una recuperación natural. Sin embargo, a menudo se dan condiciones en las que es necesaria la mencionada neutralización.

Cuando se vaya a neutralizar un digestor, debe calcularse con mucho cuidado la dosis adecuada, ya que, si se añade muy poco, resultará ineficaz, y si demasiado será tóxico, malgastando producto inútilmente.

Las instalaciones que se construyen en la actualidad suelen tener dos tanques de digestión separados o un tanque con dos secciones divididas.

Un tanque recibe el nombre de digestor primario y se utiliza para el calentamiento y mezclado del fango fresco, el segundo tanque, o digestor secundario, se utiliza como tanque de retención para la separación de los sólidos del líquido. Para conseguir esta separación, el tanque secundario no debe tener mezclado.

La mayor parte del trabajo de estabilización del fango se logra en el digestor primario, donde se produce el 90% del gas. Es aconsejable mezclar muy intensamente el tanque primario, pero no es recomendable devolver la mezcla digerida a la instalación como sobrenadante. Por consiguiente, cuando se bombea fango fresco al digestor primario, se pasa un volumen igual al digestor secundario, y el sobrenadante sedimentado de éste es devuelto a la instalación.

### **Precauciones y mantenimiento del sistema de digestión**

La mezcla de gas del digestor y aire con una proporción del primero comprendida entre el 5,7 y el 13,5% es explosiva. El gas del digestor puede también causar asfixia.

Debe estar prohibido encender fuego, fumar y provocar chispas cerca de los digestores, o de las instalaciones de bombeo de fango.

En cuanto a las tuberías, válvulas y bombas nunca debe arrancarse una bomba, de desplazamiento positivo, con la válvula de descarga cerrada, porque el aumento de presión puede dañar la tubería o la bomba. Todas las bombas deben estar equipadas con dispositivos de seguridad, pero a veces estos dispositivos fallan o dejan que la presión se eleve demasiado, ocasionando daños. Una conducción de fangos no debe jamás aislarse cerrando las válvulas de cada extremo durante algunos días, ya que la producción de gas puede elevar la presión lo suficiente como para provocar la rotura de la conducción. Por otro lado los sólidos formarán una masa casi inamovible en la tubería.

Deben seguirse las normas de los fabricantes, y establecer un cuadro de mantenimiento que se cumpla con rigidez. El abandono o descuido del mantenimiento es menos visible en el sistema de digestión que en el resto de la instalación, pero es mucho más peligroso que en cualquier otro lugar del proceso.

Aspectos importantes, al contemplar el mantenimiento, son la estabilidad del lodo, los microorganismos y los olores. No debe olvidarse que, con la digestión anaerobia, se pretende obtener un residuo final que no produzca perjuicio al medio ambiente ni cree condiciones molestas. Al fango que reuniera estos dos aspectos se le podría llamar fango estable o estabilizado.

MEMPA ha sugerido como grado de estabilidad el siguiente parámetro:

$$E = 100 ( 1 - ( V_1 \cdot F_0 / V_0 \cdot F_1 ) )$$

donde  $V_0$  y  $V_1$  son el porcentaje de sólidos orgánicos del fango fresco y digeridos respectivamente, y  $F_0$  y  $F_1$  el contenido de sólidos inorgánicos en el fango fresco y digerido respectivamente.

## **4.2. PROTOTIPO DE LABORATORIO**

- Descripción y arranque del digestor
- Experiencia y resultados
- Conclusiones

Como hemos apuntado ya en páginas anteriores, la aplicación del tratamiento anaerobio al agua residual de aceitunera no parecía una posibilidad rentable ya que la digestión se inhibía a causa de varios factores como la salinidad de las salmueras o la acción de los compuestos fenólicos.

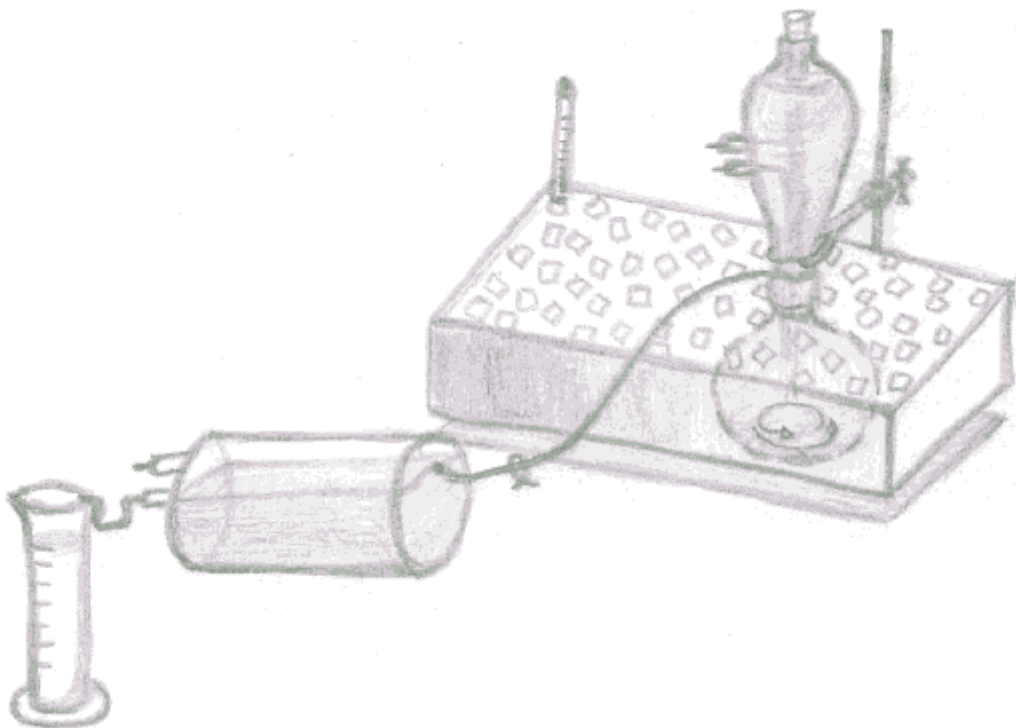
Sin embargo ahora se ha podido demostrar que estas creencias no son necesariamente ciertas y que es posible, mediante la adaptación de las bacterias al tipo de agua en cuestión, realizar la depuración anaerobia al vertido de aceitunera obteniéndose unos rendimientos altos, al igual que se obtienen con otro tipo de vertidos a priori más favorecidos para tratamiento.

### **Descripción y arranque del digestor**

El sistema de digestión que se va a utilizar para ensayar la depuración anaerobia para vertido de la industria de aderezo de aceituna de mesa, a nivel de laboratorio consta de :

- 1- Digestor
- 2- Embudo de alimentación con orificios para evacuación de purga, de gases, u otras utilidades
- 3- Baño termostático dotado de termómetro para verificar la temperatura y corchos flotantes que retardan la evaporación

- 4- Sistema de agitación del líquido de digestión
- 5- Depósito de biogás con sistema de medida por desplazamiento de agua y orificio para toma de muestra y quemado del metano
- 6- Probeta de medida de agua desplazada del depósito de gas
- 7- Accesorios varios : gomas , pinzas , tubo en U, etc...



Para caracterizar el agua de la residual de la aceitunera Marciense se realizaron los análisis necesarios siguiendo los “Estandars Methods for examination of water and wastewater” y usando datos estadísticos, obteniéndose los

resultados:

PH	5.9
Densidad	1.03 Kg/L
Capacidad calorífica	0.7 cal/g °C
Viscosidad	2.3 Kg/h m °C
Conductividad	0.54 Kcal/h m °C
DQO	9000 ppm
Sólidos totales	19000 ppm
Sólidos volátiles	2000 ppm
Sólidos en suspensión totales	1600 ppm
Sólidos en suspensión volátiles	400 ppm

En la puesta en marcha del digestor es necesario cultivar la biomasa adaptada al agua a depurar. Esto se consigue partiendo de un inóculo donde la flora metanogénica esté presente, de manera que al ir mezclándole poco a poco el agua problema, cada vez el porcentaje de ésta sea mayor, al tiempo que el cultivo se mantenga y estabilice.

El resultado final será un digestor con agua residual de aceitunera donde exista una biomasa bacteriana estable apta para la digestión anaerobia.

El digestor se llenó para su arranque con medio litro de agua corriente mezclada con fango de un digestor activo de ranilla. Después se le hizo pasar una corriente de nitrógeno para eliminar en su totalidad el oxígeno del medio creando así el medio anaerobio. Se conectó el sistema de agitación y se termostatóizó el baño a 37 °C manteniéndose estos parámetros durante todo el proceso.

En estas condiciones, el digestor fue alimentado diariamente, durante una semana, con 50ml de agua residual de Ranilla; al cabo de esta semana ya se obtuvo producción de biogás. En ese punto se empezó a introducir agua residual de aceitunera, tomada de la empresa Marciense, mezclada con la de Ranilla. Al principio la mezcla se hizo al 25% dejando que se estabilizara el cultivo, y sucesivamente se fueron haciendo mezclas del 40%, 50% y 100%. Cada vez que se aumentaba la concentración de agua de Marciense bajaba la producción de biogás y se le daba el tiempo necesario al sistema para adaptarse al cambio antes de aumentar el porcentaje nuevamente.

### **Experiencia y resultados**

Con el digestor ya funcionando normalmente, diariamente se procedía al purgado y alimentación del mismo, así como a la medida del volumen de gas producido (equivalente al volumen de agua desplazado del depósito de gas), el vaciado de la probeta de agua y reposición del nivel del líquido evaporado del baño termostático, así como la comprobación del correcto funcionamiento de la agitación y calentamiento etc...

Con una frecuencia prefijada se recogían y tabulaban también otros datos fundamentales, estas medidas se realizaban naturalmente tanto a la



alimentación como al líquido digerido o efluente, para poder mas tarde evaluar rendimientos.

Unos por medición directa, otros mediante análisis de laboratorio y cálculos, los datos de los que hablamos y su frecuencia de recogida son:

- Diariamente:

Ph

Temperatura

- 2 veces en semana:

DQO

Acidez

Alcalinidad

Sólidos Totales

Sólidos Volátiles

Sólidos en Suspensión Totales

Sólidos en Suspensión Volátiles

- Semanalmente:

Composición del biogás

Así mismo se realizaban los cálculos necesarios para el control del digestor como relación acidez / alcalinidad, rendimiento de sólidos y de DQO, etc...

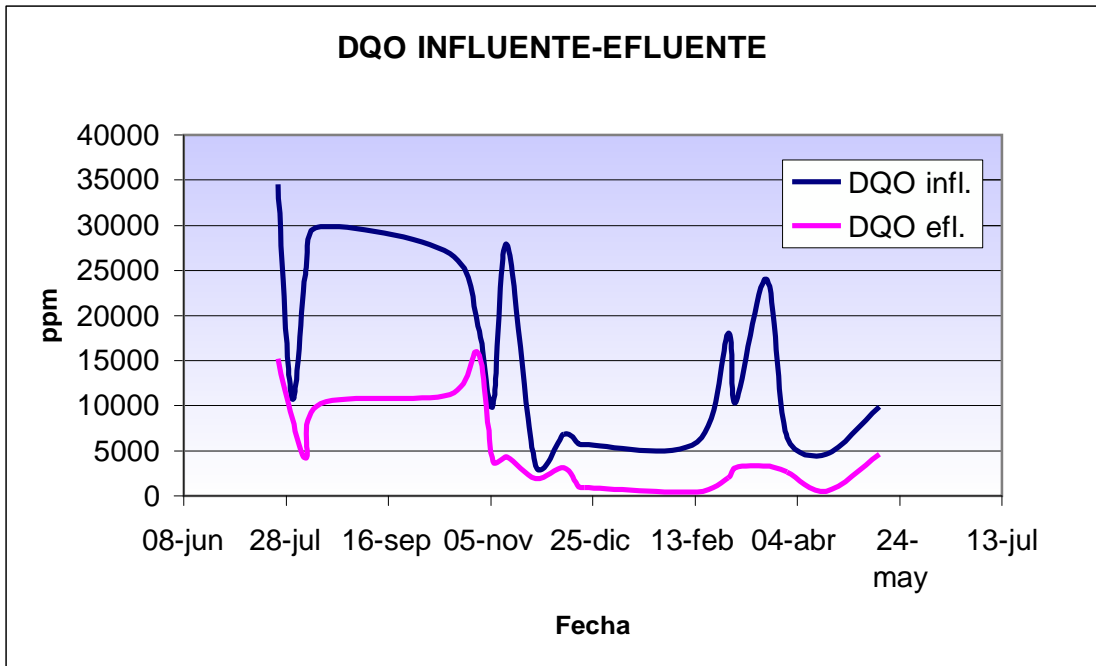
Ahora mostraremos como ejemplo un extracto de las tablas donde se recogían estos datos y sus valores correspondientes, para ello hemos seleccionado una serie de días o periodos significativos desde el arranque del digestor hasta una fecha cualquiera ya que una vez lograda la estabilización del digestor, el mantenimiento no entraña mayores variaciones en el proceso seguido.

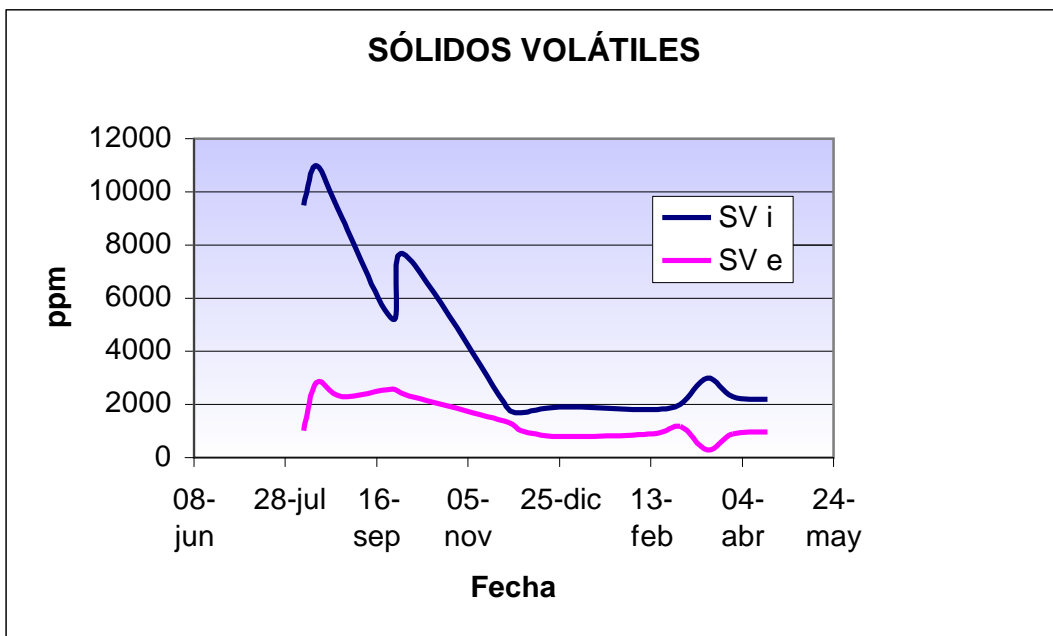
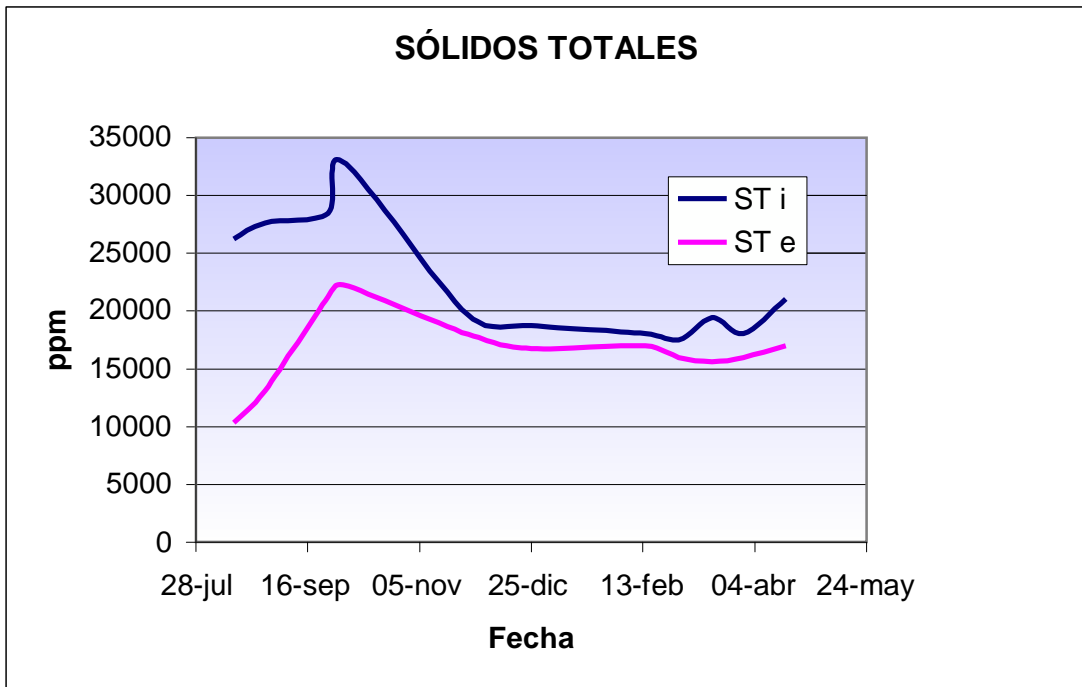
MPIGMA 2010-2011

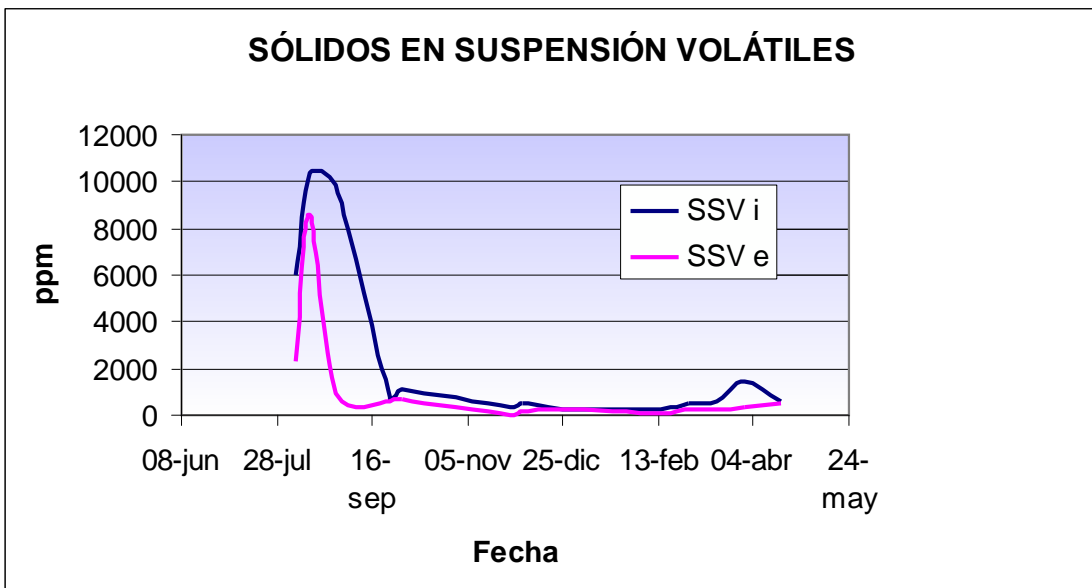
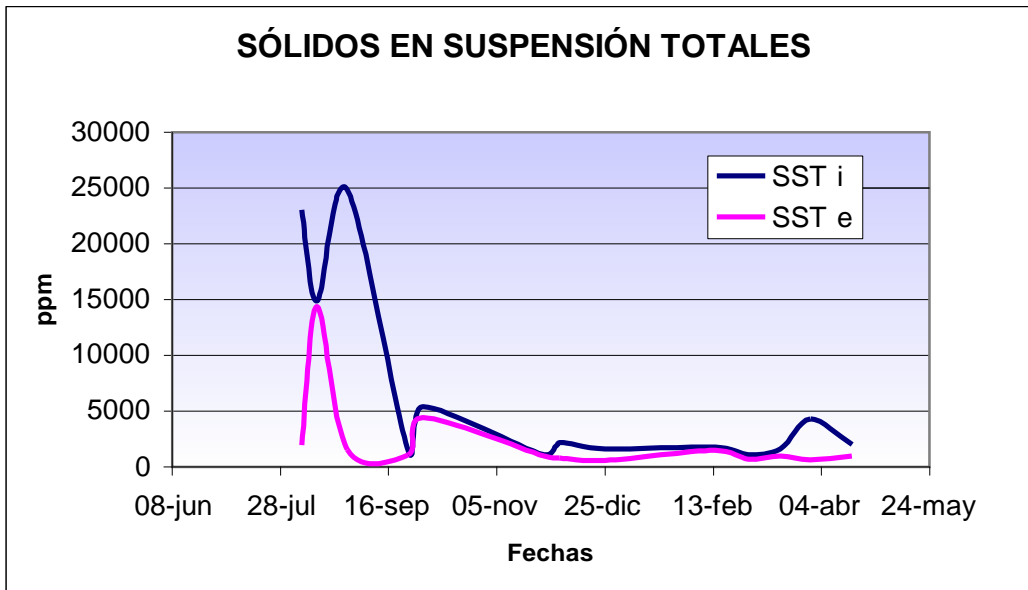
	14-ago	28-ago	25-sep	29-oct	27-nov	04-ene
V Alimentación	50	100	150	100	200	250
V Purga	20	40	70	80	200	250
V gas	420	750	540	400	300	700
PH	7,1	6,9	7,1	7,2	7	6,9
Acidez	1129	936	1680	1464	672	1272
Alcalinidad	1950	2280	2060	1880	1800	1700
Ac/Al	0,57	0,41	0,815	0,77	0,37	0,66
DQO infl.	38974	31500	29440	20132	3360	7000
DQO efl.	10256	9000	13507	17952	1920	2640
ST I	26260	27640	28465	32900	19640	18740
ST e	10290	13080	21240	22250	17950	16730
SV I	13290	9010	3940	7603	1830	1690
SV e	2830	2300	2570	2361	1322	1010
SST i	14883	25833	1420	5412	1120	2190
SST e	14366	1533	1080	4400	950	790
SSV i	10366	9816	750	1098	350	500
SSV e	8600	966	570	695	10	170

Tomando todos los datos analizados en el transcurso del periodo desde el arranque del digester hasta 10 meses después , elaboramos las siguientes gráficas donde podemos ver una comparación visual de los parámetros más representativos de la contaminación en el influente y el efluente.

Después usaremos estos datos para obtener las medias representativas de cada concepto, así como los rendimientos obtenidos.







A la vista de estos datos deducimos que el tiempo de retención necesario es de 10 días.

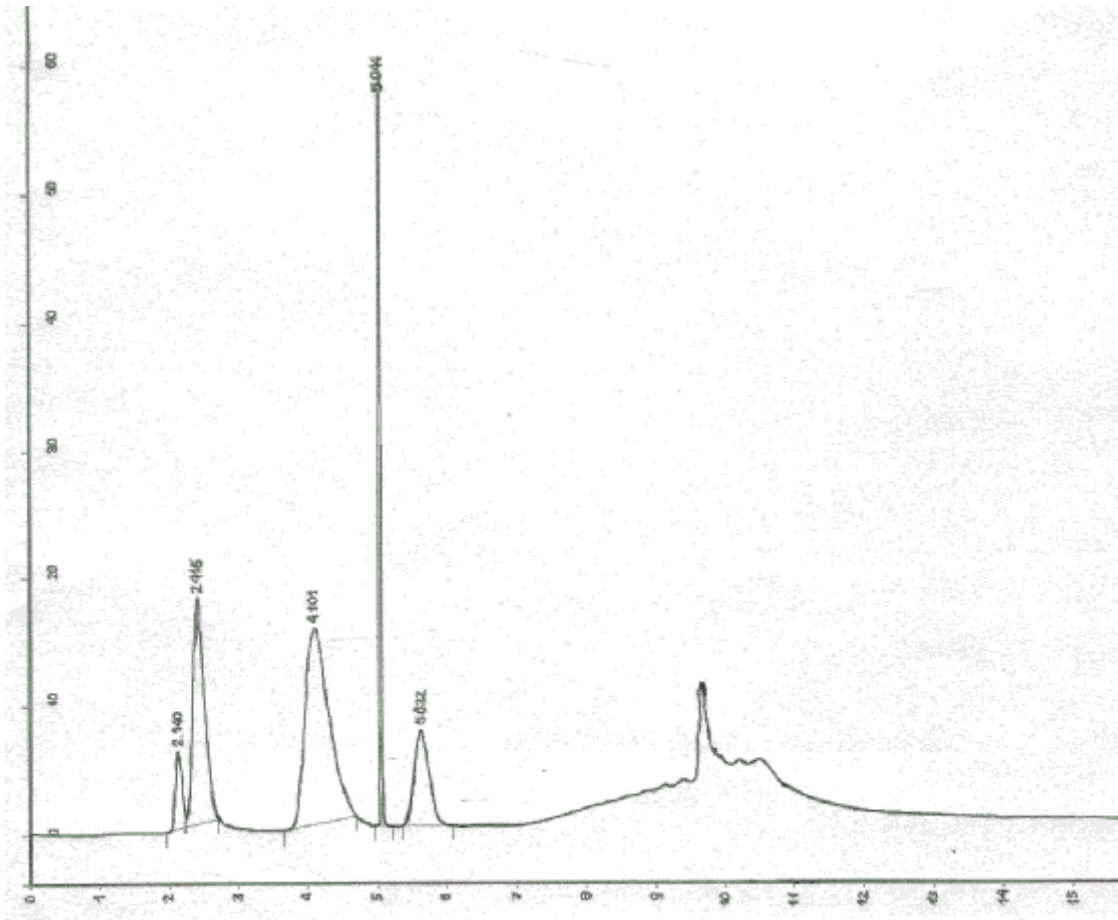
La carga orgánica de la alimentación medida como DQO es variable, no hay un nivel constante para este valor, así que observamos que para mantener un

funcionamiento constante en el digestor es preciso aumentar el volumen de entrada cuando el agua viene menos “cargada”. En general se puede decir que la digestión funciona correctamente para unos 900 mg. de DQO diarios lo cual, tomando el valor medio adoptado de DQO para este agua 9000 ppm nos lleva a un volumen de alimentación de 100 ml, y un tiempo de retención de 10 días.

Como hemos comentado, cuando la alimentación venga por ejemplo con 4500 ppm habrá que añadir 200 ml para el correcto funcionamiento.

Los análisis del biogás se realizaban mediante cromatografía de gases, obteniéndose una gráfica donde cada pico máximo representa y cuantifica un componente determinado del biogás estudiado.

Un ejemplo de la gráfica que se obtenía puede ser:



La composición media del biogás obtenido en el ejemplo mostrado sería:

$\text{CH}_4 = 65\%$

$\text{CO}_2 = 20\%$

$\text{N}_2 = 9\%$

$\text{H}_2 = 5\%$

$\text{O}_2 = 1\%$

## Conclusiones

Se ha demostrado en la práctica que el agua residual de aceitunera es apta para el tratamiento anaerobio, basta adaptar la biomasa metanogénica al medio problema.

Se obtiene además buena cantidad de biogás con un porcentaje alto de metano que lo hace una fuente de energía adecuada para los aportes energéticos de la planta de depuración.

Podemos resumir las conclusiones hablando de la eficiencia del tratamiento que se calcularía para cada parámetro, como :

$$\frac{\text{Valor a la entrada} - \text{Valor a la salida}}{\text{Valor a la entrada}} * 100 = \text{Rendimiento}$$

Para hablar de eficiencia del tratamiento, obtenemos las medias aritméticas de los valores tabulados.

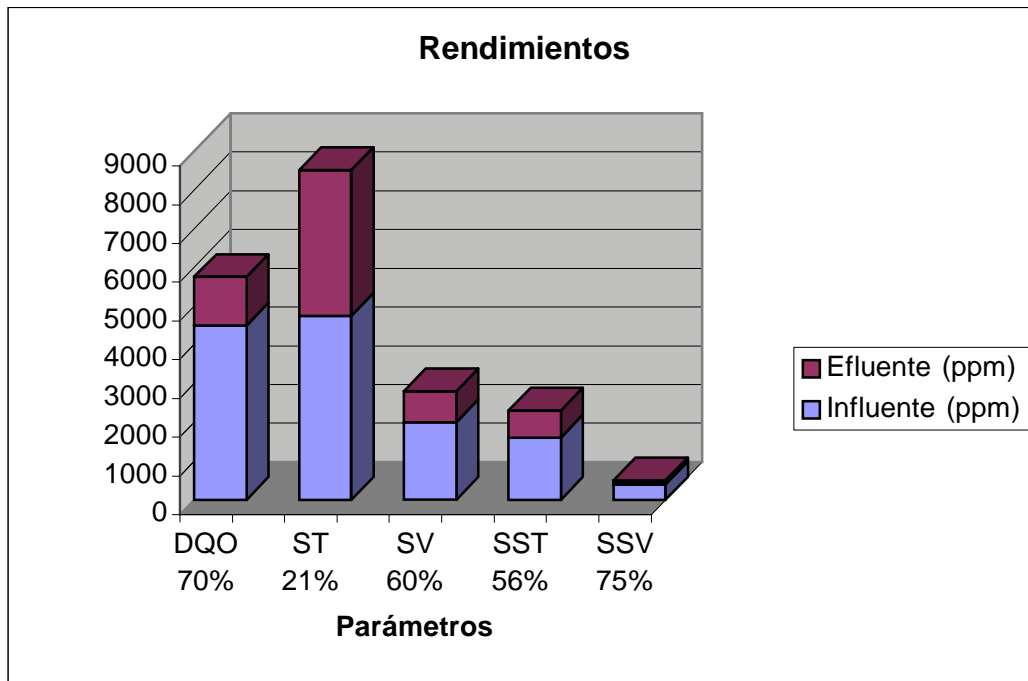
De este modo tendremos, para cada parámetro estudiado, un valor representativo tanto en el agua entrante a la planta como para el efluente y a partir de ellos calculamos rendimientos.

	Influyente ppm	Efluente ppm	Rendimiento
DQO	9000	2500	70%
ST	19000	15000	21%
SV	2000	800	60%
SST	1600	700	56%
SSV	400	100	75%



En el siguiente grafico vemos estos rendimientos de forma más completa.

Los valores de la DQO están divididos entre 2, y los de los sólidos totales entre 4 para ajustar las escalas del gráfico.



### **4.3. APLICACIÓN INDUSTRIAL.**

#### **DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO.**

- Diagrama de proceso
- Digestor-Decantador
- Sistema de calefacción
- Circuito de gas. Agitación
- Tuberías, compresores, bombas, válvulas
- Instrumentación
- Autómata

#### **Diagrama de proceso**

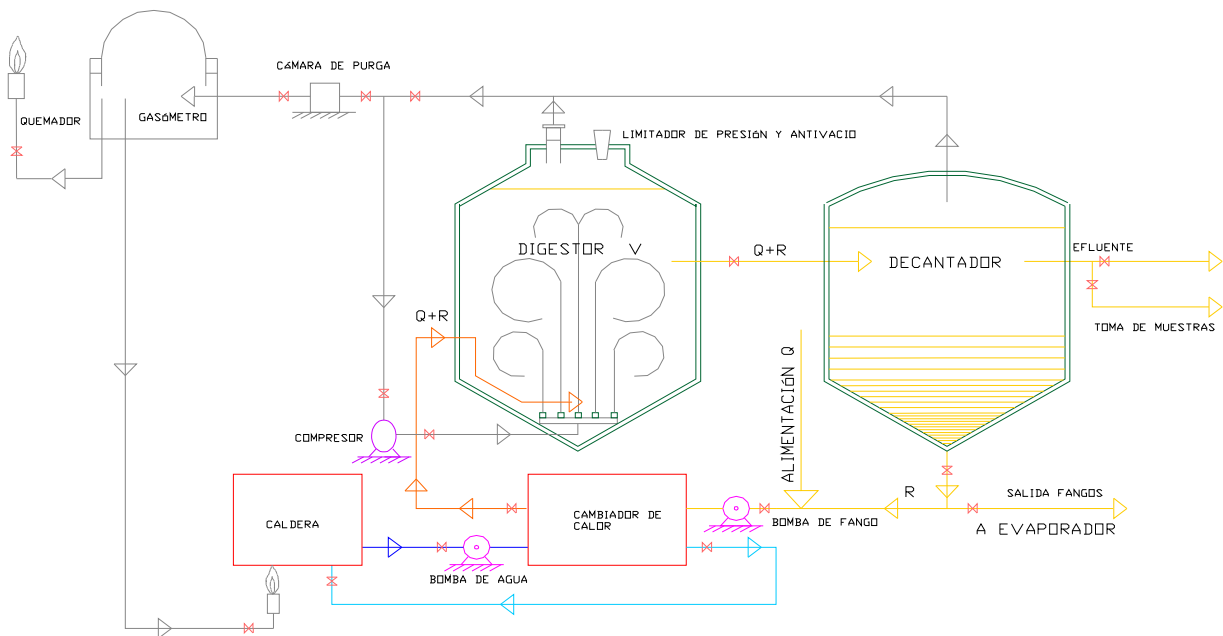
Las instalaciones actuales de digestión constan de dos etapas La primera es donde realmente se produce la digestión. Su contenido es mezclado continuamente (proceso de digestión de mezcla completa) y calentando para que se mantenga en la zona mesófila. Dicha etapa es alimentada con fango fresco de forma más o menos continua.

El fango de la primera etapa es conducido a la segunda etapa, donde se produce la separación de fango digerido y el sobrenadante. Esta etapa es normalmente utilizada como gasómetro, depósito de gas, al disponer de cubierta flotante, aunque también puede ser un gasómetro independiente.

Las dos etapas están constituidas por depósitos cilíndricos de fondo inclinado. A los depósitos se les llama digestores. A la primera etapa se la denomina normalmente digestión primaria y a la segunda digestión secundaria. Los digestores primarios tienen siempre la cubierta fija, mientras que los digestores secundarios la pueden tener fija, flotante o no tenerla. Las cubiertas fijas están proyectadas normalmente para resistir presiones de gas de 25 cm de columna de agua, aunque algunas llegan a alcanzar presiones de 60 cm o más.

Existen diversos sistemas para el calentamiento del fango. La forma más extendida consiste en la recirculación del fango a través de un intercambiador exterior de calor de agua caliente. El agua es calentada en una caldera alimentada por el gas de digestión.

Un esquema de esta digestión en dos etapas sería:



Sin embargo nosotros no vamos a usar éste sistema aunque nos basaremos en él.

La diferencia fundamental la encontramos en que en vez de tener un digestor para cada etapa, vamos a contar sólo con uno diseñado de tal modo que funcione la parte inferior como digestor primario o simplemente digestor y la superior será el digestor secundario o decantador . En el siguiente punto detallaremos el funcionamiento de este sistema.

El resto de la planta funcionará básicamente igual que en la digestión en dos etapas.

El proceso empieza con la llegada del agua a la planta, de ahí va pasando a razón de 80 m<sup>3</sup>/día al depósito de cabecera cuya misión fundamental es la premezcla de ésta con el agua recirculada que llega del digestor, 35 m<sup>3</sup>/día, para calefacción y como aspiración para la bomba que le sigue. Esta bomba, bomba de alimentación, tendrá las características necesarias para impulsar 115 m<sup>3</sup>/d de agua residual de aceitunera desde la base del depósito anterior hasta la zona de digestión, haciéndola pasar por el cambiador de calor donde adquirirá la temperatura necesaria para el mantenimiento de los 37<sup>0</sup>C necesarios y suplir además las pérdidas calóricas por radiación y otros conceptos cuyos cálculos se verán en páginas siguientes.

Otra bomba del proceso se encargará de recircular el agua caliente, que en contracorriente con el agua residual, le cederá su calor en el interior del cambiador.

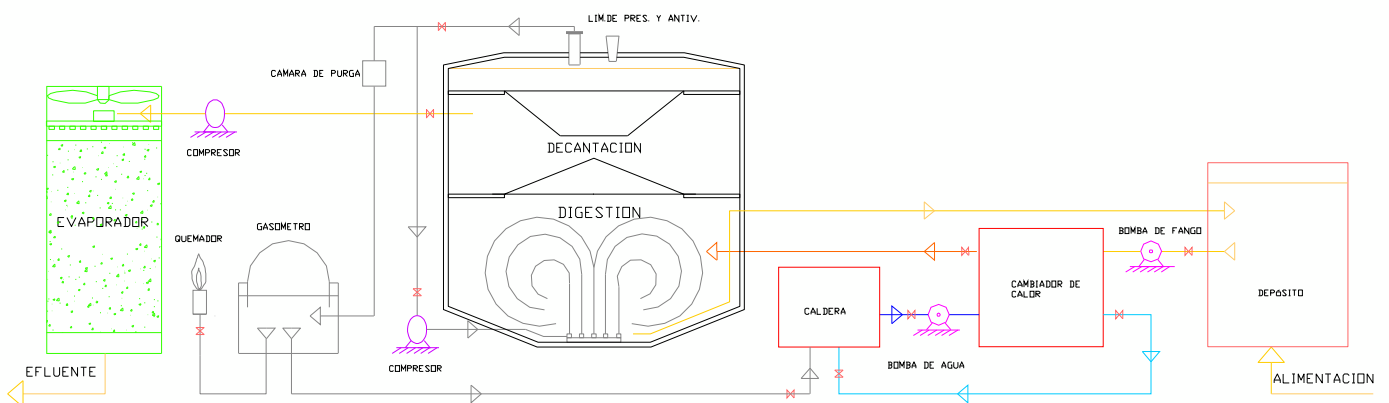
Conforme el agua va entrando en el digestor, la presión desplaza el volumen necesario hacia la zona alta de decantación, donde, a su vez, un volumen igual de agua tratada abandonará el tanque para entrar al tratamiento de evaporación en las torres.

El gas de digestión es desplazado por el que se va produciendo, hacia el gasómetro. Allí una parte es solicitada por la caldera que compone el sistema de calefacción y el resto será quemado para evitar la emisión de contaminantes a la atmósfera.

El gas que llega a la cúpula del digestor es, además del producido diariamente, el que se recircula para lograr la agitación en la zona de digestión. Este gas es comprimido a su salida del tanque para inyectarlo en la base de forma que cree una corriente tórica en el digestor que mezclará debidamente alimento y microorganismos a la vez que “barre” el fondo.

Por último, el agua depurada y concentrada, efluente de la zona de evaporación, será evacuada de la planta para ser llevada a su destino final.

El diagrama de proceso lo podemos definir según el gráfico que vemos a continuación.



### **Digestor – Decantador**

El tanque de digestión es, como ya hemos dicho, un recipiente construido de hormigón armado, de 13 m de diámetro y 12.7 m de altura máxima, base inclinada a razón 1:2.5, para evitar depósito de sólidos en su fondo y cubierta fija, plana.

Para el dimensionado de la obra civil se usarán las normas y conceptos expuestos en la instrucción de hormigón estructural EHE-98; y se tendrán en cuenta las cargas:

- Peso de los muros
- Empuje de los líquidos contenidos en la obra
- Empuje de las tierras
- Reacciones en los apoyos
- Estudios sísmicos

La construcción se llevará a cabo cavando una fosa de 4m de profundidad que irá recubierta de una capa de zahorra (tierra) compactada al 50%, sobre ella, con un espesor de 0.1 m se vierte el hormigón de limpieza del tipo H-100.

La zapata, de 0.6 m de altura, sustentará el perímetro del depósito prolongándose los muros y la losa hasta ella debidamente unida mediante el armado. Todos estos elementos, muros, zapatas, y losa serán de hormigón de resistencia HA-25 debidamente impermeabilizado.

Los muros serán de 0.4 m de espesor y la losa de 0.3 m; siguiendo la norma EHE-98 para hormigones como ya hemos dicho.

Para el armado se usarán barras redondas de hierro corrugado de 16mm y 20mm de diámetro y 150 mm de longitud uniéndose unas a otras y quedando perfectamente recubiertas por el hormigón.

Como sabemos, el tanque está dividido en dos zonas:

La **parte inferior** está habilitada para la digestión anaerobia del agua residual, para ello cuenta con un sistema de agitación que detallaremos al describir el circuito de gases ya que el biogás generado será el elemento agitador. Además esta zona va a mantener una temperatura constante de 37°C que proporcionará el cambiador de calor situado en el exterior, proyectado para enviar la cantidad necesaria de agua caliente para mantener dicha constante. La capacidad de la zona de digestión será de 800 m<sup>3</sup>, como se calculará más adelante; el resto de datos de dimensionado etc.. según planos.

La **parte superior** del digestor está destinada a la decantación y recirculación de aguas digeridas a la vez que se completa el proceso. La decantación se produce sobre dos decantadores instalados a tal efecto.

Estos serán de chapa de acero inoxidable de 5 mm de espesor. Uno tiene forma cónica, con 1.3 m de altura y 4 m de radio, está situado a 6.5 m de la base del digestor y es además la separación física entre la zona de digestión y la de decantación. El segundo, a 10,1 m del suelo, es tronco-cónico con sus dos bases abiertas para la circulación del líquido en su interior. Con una altura de 1.5 m, tiene 4.5m y 1.5 m de radio de base mayor y menor respectivamente.

Para sostener los decantadores se han usado cuatro vigas de perfil normal en I IPN140 y otras cuatro IPN160, que van soldadas a la chapa de acero de los decantadores y unidas a la pared del digestor mediante placa de anclaje con soldadura en ángulo según norma UNE 14 035.

### **Sistema de calefacción**

La temperatura de operación es un factor clave en la fermentación metánica. Necesitamos mantener un medio estable a  $37^{\circ}\text{C}$  en la zona de digestión, por tanto, la alimentación que llega a temperatura ambiente, precisará pasar por un cambiador de calor para que al entrar al digestor no haga descender la temperatura prefijada.

Además, es imprescindible tener en cuenta las pérdidas que se producen por radiación por todas las superficies en contacto con el líquido caliente

Por último, no debemos olvidar que el digestor está diseñado para que desde los decantadores se produzca una recirculación espontánea de agua digerida. Este agua cae a una temperatura inferior a la de digestión, ya que la zona de decantación no va calefactada, por lo que también habrá que considerar el correspondiente aporte de calor en el cambiador para suplir esta pérdida.

La suma de todos los términos descritos, representan las necesidades de calor del digestor para mantenerse a  $37^{\circ}\text{C}$  y serán calculadas detenidamente mas tarde. Partiendo de estas necesidades, se llegará a la conclusión del cambiador de calor necesario a instalar será :

Cambiador tubular, de carcasa y tubos usando como fluido caliente agua a  $60^{\circ}\text{C}$ . Ésta circulará por la carcasa en circuito cerrado desde una caldera, normalmente alimentada por el gas de digestión, aunque se instalará un sistema auxiliar con gas propano para su uso en el arranque del digestor o situaciones de emergencia.

Diámetro exterior de tubo =  $1\frac{1}{4}$ "

Longitud :  $8' = 2.438\text{m}$



Espesor de tubo : 0.165" =  $4.19 \cdot 10^{-3}$  m

Diámetro interior : 0.920" = 0.023 m

Triangular Pitch: 1 9/16" = 0.039 m

Diámetro de carcasa : 12" = 0.304 m

Nº de tubos : 26

Nº de Pasos : 4

Nº de deflectores : 5

Las pérdidas de carga por interior y exterior de tubos son:

$$AP_i = 373.9 \text{ kg /m}^2$$

$$AP_c = 401.4 \text{ kg /m}^2$$

### **Circuito de gas. Agitación**

El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materias volátiles destruidas según sean las características de la alimentación. El gas se compone principalmente de metano y de anhídrido carbónico. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70%, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 23% al 30% en volumen. Un uno o dos por ciento del gas del digestor se compone de otros gases, como sulfhídrico, amoníaco, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno.

El gas del digestor (debido al metano) posee un poder calorífico aproximado de 4.500 a 5600 Kcal por m<sup>3</sup>. Este gas del digestor se utiliza en las

depuradoras de diversos modos, por ejemplo para calentar los digestores, en la calefacción de los edificios de la misma, como combustible de los motores para las soplantes del proceso de fangos activados, o para producir la energía eléctrica de la instalación.

El sistema de gas sirve para trasladar éste, desde el digestor a sus puntos de consumo o al quemador de gases en exceso.

Un sistema de gas se compone de las siguientes partes:

- **Cúpula de gas:** Es un lugar en el techo del digestor, desde el cual se extrae el gas del tanque. En los tanques de cubierta fija, puede haber un cierre de agua incorporado, para proteger la estructura del tanque del exceso de presión positiva o vacío, creado por la extracción del fango o del gas de el tanque de forma demasiado rápida. Si la presión del gas sube por encima del recorrido de la columna de agua, se escapará a través del cierre de agua hacia la atmósfera, sin levantar el techo. Si se extrae el fango o se utiliza el gas con demasiada rapidez, el vacío puede pasar de los 20 cm y romper el cierre de agua permitiendo la entrada de aire en el tanque. Sin el cierre de agua, el vacío aumentaría y podría romper el tanque. La entrada puede crear en el tanque una mezcla explosiva.
- **Una tubería entre el tanque de almacenaje de gas y el digestor** protegerá a éste de las pérdidas del cierre de agua si el paso no está cortado. Cuando se introducen líquidos en el digestor, el gas puede salir por la tubería hacia el tanque de almacenaje y cuando se extraen del digestor, el gas puede volver al tanque, a través de la misma conducción.
- **Válvulas de seguridad y rompedora de vacío:** La válvula de seguridad y la rompedora de vacío van colocadas sobre la misma tubería, pero cada

una trabaja independientemente. La válvula de seguridad consta de un plato cargado con arandelas de peso calibrado. Cada peso va estampado con su equivalente altura de columna de agua. La combinación de estos pesos junto con el peso del plato debe igualar la presión de proyecto del tanque. La presión nominal del gas se establece normalmente entre 15 y 30 cm de columna de agua. Si la presión de gas en el tanque excede de la presión de timbraje, la válvula se abrirá y dejará escapar gas durante un cierto tiempo. El cierre de agua se puede romper cuando la alimentación del tanque sea excesiva o cuando la extracción del gas sea demasiado lenta. La válvula rompedora de vacío funciona de manera idéntica a la de seguridad, excepto en que alivia las presiones negativas para impedir el colapso del tanque. El funcionamiento de cualquiera de estas dos válvulas es peligroso, porque permite la mezcla del gas del digestor con el aire y podría producir una explosión fuera del tanque. si se abriera la válvula de seguridad, y dentro del tanque, si se abriera la válvula rompedora de vacío. La válvula de seguridad se monta en la parte superior del digestor.

### **Apagallamas**

El apagallamas típico es una caja rectangular que contiene aproximadamente de 50 a 100 placas de aluminio corrugado con agujeros taladrados. Si se ocasionara alguna llama en la tubería el gas se enfriaría por debajo del punto de ignición al pasar a través de los deflectores, pero el gas podría seguir pasando con poca pérdida de carga.

Para evitar las explosiones, deben instalarse apagallamas en los siguiente lugares :

1. Entre las válvulas de seguridad y rompedora de vacío y en la cúpula del digestor.
2. Después del purgador de sedimentos, en la tubería de gas del digestor.
3. En el quemador de gases en exceso.
4. Delante de cada caldera, horno o llama.

### **Válvulas térmicas**

Otro dispositivo de protección que debe instalarse cerca de las fuentes de llama, y cerca de la cúpula de gas es la válvula térmica. Esta válvula es redonda, con un plato de cierre unido al accionamiento por un muelle vástago. El vástago apoya sobre un disco fusible que mantiene el plato unido. Si la llama genera el calor suficiente el elemento fusible se funde y el muelle acciona el vástago hasta que el plato se asienta, para cortar el paso del gas. La mayoría de las válvulas están equipadas con palomillas, a rosca en la parte superior del cuerpo para inspección y mantenimiento.

### **Separadores de sedimento**

Un separador de sedimentos es un recipiente cilíndrico de 30 a 40 cm de diámetro y 60 a 90 cm de longitud. Está situado, corrientemente, en la parte superior del digestor, cerca de la cúpula de gas. La tubería de entrada de gas está cerca de la parte superior del separador en un lateral y la tubería de salida lo hace directamente de la parte superior del mismo.

Este separador de sedimentos está también equipado con un deflector interior perforado, y un drenaje de condensados cerca del fondo. El gas entra por la parte superior de un lateral del tanque, desciende, atraviesa el deflector, vuelve a subir y sale por la parte superior. La humedad del gas y todos los trozos grandes de incrustación quedan retenidos en el tanque, antes de entrar en el sistema de gas.

### **Purgadores de condensado**

Si el gas del digestor está bastante húmedo, en su recorrido desde el tanque caliente hasta zonas de temperatura más baja, el agua se condensa. El agua debe recogerse en los puntos bajos del sistema y purgarse, ya que de lo contrario impedirá que el gas circule, y causará daños en algunos equipos como los compresores, e interferirá en la utilización del gas. Estos purgadores disponen generalmente de una capacidad de almacenaje de un cuarto o medio litro de agua. Todos los purgadores de los conductos de gas deben situarse al aire libre y ser de funcionamiento manual.

Los purgadores automáticos no son recomendables porque muchos van provistos de un flotador, y de un orificio con válvula de aguja y la corrosión de los sedimentos y la incrustación en el sistema de gas pueden impedir que la aguja asiente. Las pérdidas consiguientes pueden crear concentraciones de gas con posibles riesgos para las personas y para los equipos.

### **Medidores de gas**

Los medidores de gas pueden ser de diversos tipos como muelles, diafragmas de flujo en paralelo, molinetes, y placas de orificio o de presión diferencial.

## **Manómetros**

Los manómetros se instalan en varios puntos del sistema, para indicar la presión del gas.

## **Reguladores de presión**

Los reguladores de presión se instalan generalmente antes y después del quemador de gases en exceso. Estos reguladores suelen ser del tipo de diafragma, y controlan la presión en todo el sistema de gas del digestor. Están normalmente tarados a unos 20-30 cm de columna de agua, ajustando la tensión del muelle sobre el diafragma. Siempre que sea necesario ajustar el valor de tara de la presión, hay que comprobar la presión del sistema de gas con un manómetro de escala apropiada. Si la presión del gas en el sistema es inferior a los 20 cm de columna de agua, no llegará gas al quemador. Cuando la presión del gas alcance los 20 cm de columna de agua, el regulador se abre ligeramente, dejando que el gas pase al quemador. Si la presión continúa aumentando el regulador se abre aún más para compensar.

Los reguladores de gas se sitúan también en otros puntos del sistema, para regular la presión de gas en las calderas, calentadores y motores.

## **Quemador de los gases sobrantes**

El quemador de gases se usa para eliminar los gases en exceso del sistema de digestión. Va provisto de una llama piloto de quemado continuo, para que cualquier exceso de gas que pase por el regulador se queme.

## **Muestreador**

El muestreador consiste en una tubería de 8 ó 10 cm (con una tapa de cierre) que penetra en el tanque de digestión, a través de la zona de gas, y que está siempre sumergida unos 30 cm, más o menos, en el fango del digestor. Esto permite la toma de muestras del fango del digestor sin pérdida de presión de gas, y sin crear condiciones peligrosas causadas por la mezcla de aire y gas del digestor.

## **AGITACIÓN**

Ya sabemos que el mezclado es muy importante en un digestor. Un buen equipo mezclador acelera en gran manera el proceso, aumentando de forma vital el rendimiento.

Para el presente digestor se ha seleccionado un mezclado por gas del que ya se ha hablado más generalmente.

El propio gas extraído del tanque, es comprimido y descargado dentro del digestor, a través de unos orificios situados varios metros bajo la superficie del fango. El gas, que sube a la superficie, a través del fango en digestión, lleva fango con él, creando una circulación rotativa del contenido del tanque. El mezclador de gas se puede hacer funcionar de forma continua o intermitente, según sean las condiciones del tanque.

Los componentes estructurales necesarios para el mezclado por gas son: tuberías de entrada y descarga de gas, un compensador de desplazamiento positivo y un distribuidor de acero inoxidable en el digestor. El distribuidor está formado por una cruz con número determinado de salidas de gas. El compresor de gas se dimensiona en consonancia con el digestor y puede

oscilar entre los 800 y los 6.000 l/min. Para conseguir una mezcla adecuada es necesaria una recirculación de gas del orden de 5 metros cúbicos por minuto para 1.000 metros cúbicos de capacidad del tanque, si se libera el gas a unos 5 metros de profundidad. Si se libera a 10 m de profundidad, un caudal de 2,5 M<sup>3</sup>/minuto por 1.000 M<sup>3</sup> de capacidad será suficiente.

En nuestro caso concreto son necesarios 2m<sup>3</sup> /min. para la adecuada agitación. Contamos con difusores que trabajan un caudal de 50 l /min. por lo que se instalarán 40 Difusores. Estos van montados en el distribuidor de acero inoxidable formado por 2 cruces de forma que cada rama alojará 5 difusores con una separación entre sus ejes de 265mm. La anchura total del distribuidor es 2698+ d .La capacidad del compresor necesario es de 2m<sup>3</sup>/min.

### **Tuberías**

Para proceder al diseño de las tuberías de conexión correspondientes y especificar las bombas, y los compresores que mantengan el flujo de los fluidos en las condiciones deseadas y de la forma más económica posible, es necesario, en primer lugar tener conocimiento de las normalizaciones existentes relativas a las dimensiones y calidad de los materiales de las tuberías, válvulas y accesorios disponibles en el comercio. También deben conocerse una serie de reglas prácticas relativas a la forma que deben ser tendidas las tuberías, tomando en consideración una serie de factores muy diversos, como son las dilataciones que se puedan producir, la forma de sujetarlas, etc. La determinación de las pérdidas de carga en las diferentes condiciones que pueden presentarse resulta imprescindible para poder definir las características de las bombas, ventiladores y compresores. También hay que conocer las posibilidades de estos elementos, su forma de trabajar y la



importancia relativa de las diferentes variables que intervienen en su funcionamiento. Por último, hay que saber elegir entre todas las posibilidades existentes la más adecuada a cada caso concreto, buscando la máxima economía para el conjunto del sistema.

Las normas que han usado para las tuberías de nuestra planta son las normas ASA (American Standar Associación) y las DIN.

En la planta de tratamiento podemos distinguir, los dos fluidos principales que son el agua residual tratada y el biogás que se genera, así como un fluido auxiliar que sería el agua para calefacción.

Para las tuberías de agua residual vamos a adoptar schedul 40 y el material a emplear será acero inoxidable tipo AISI 304.

El tramo que saca para el agua del fondo del digestor para conducirlo al depósito de mezcla con la alimentación fresca, con un caudal de 35 m<sup>3</sup>/día y velocidad de 0.5m/s, (denominado “A” en cálculos) tendrá un diámetro nominal y dimensiones de:

$$D = 1 \frac{1}{2}''$$

$$E = 3.68 \text{ mm (Espesor de tubo)}$$

$$D_{\text{ext}} = 45.46 \text{ mm.}$$

El resto de las tuberías que llevan agua residual en la planta resultan tener el mismo dimensionado (tramos B y C en memoria de cálculo), son:

El tramo que sale del depósito hacia el cambiador de calor conduciendo el agua residual, a la salida de éste, hacia el tanque de digestión con 115 m<sup>3</sup>/día.

El que lleva el efluente digerido al evaporador, así como el que, en la cabecera de la planta, introduce el agua en el depósito de alimentación, alojando ambos un caudal de 80 m<sup>3</sup> /día.

Estas dimensiones comunes son:

$$D = 2''$$

$$E = 3.91\text{mm}$$

$$D_{\text{ext}} = 58.62 \text{ mm.}$$

En cuanto a las tuberías de gas se dimensiona siguiendo la norma DIN 2240 para tuberías de gas de serie media, las calidades empleadas son, según DIN 1629, la St-00 y St-35 para tramos normales y tramos a presión respectivamente.

El tramo que recircula el biogás para la agitación del digestor, el caudal por ésta tubería es de 120 m<sup>3</sup>/hora y su velocidad 10m/s y sus dimensiones son:

$$D = 1 \frac{1}{2}''$$

$$E = 3 \text{ mm}$$

$$D_{\text{ext}} = 44.1 \text{ mm}$$

Las tuberías que conducen el biogás que se va produciendo a diario, desde la cúpula del digestor hasta el gasómetro donde se almacena para su consumo, lleva un caudal 4.79 m<sup>3</sup>/hora y sus medidas:

$$D = \frac{1}{2}''$$

$$E = 2.5 \text{ mm}$$

$$D_{\text{ext}} = 17.7 \text{ mm}$$

Las tuberías para la caldera se dimensionan según la norma DIN 2448 / 61 y su calidad, según DIN 1629 es St-00, que corresponde a un acero normal. Estas tuberías forman un circuito cerrado trabajando a una temperatura máxima de 60 grados centígrados y que transportarán un caudal de 4.62 m<sup>3</sup> / hora a una velocidad de 0.5 m /s. El dimensionado de este tipo de tubo queda de la siguiente forma

$$D = 2''$$

$$E = 2.9 \text{ mm.}$$

$$D \text{ ext} = 56.6 \text{ mm.}$$

Las bombas utilizadas en la planta son dos:

La **primera es una bomba** para impulsión de agua residual está situada en la entrada del cambiador de calor, su función es impulsar el agua desde el depósito, donde se unen la que llega nueva a la planta para empezar el tratamiento y la que es recirculada de la zona de digestión, hasta llevarla toda ella al tanque una vez calefactada en el cambiador.

La bomba a emplear será una bomba centrífuga inoxidable AISI 304 de turbina abierta, motor trifásico 220/380 V, tipo DWO 400, para un máximo de 40m<sup>3</sup>/h de caudal y altura manométrica 13m.

La **otra bomba** estará situada en el circuito de agua para calefacción del fango. Mueve el agua en un circuito cerrado desde el interacumulador de calor hasta el intercambiador y la devuelve otra vez al interacumulador.

Se colocará un compresor en el circuito de gases cuya función será impulsar a presión el biogás en el fondo del digestor mediante el distribuidor adecuado, y así conseguir la agitación necesaria en el tanque de fermentación.

El campo de la valvulería comprende las válvulas propiamente dichas, válvulas de retención, válvulas de seguridad y además otros accesorios como son purgadores, filtros, etc.

Los diferentes tipos de válvulas se pueden clasificar según su concepción, las condiciones de servicio, los materiales, o su utilización distinguiéndose si su misión es la de simplemente abrir o cerrar un circuito, o bien de regulación, como en el caso de controlar un caudal.

Destacamos la utilización de electroválvulas que, en conexión con el autómatas reciben la orden de abrirse o cerrarse según las necesidades concretas del proceso en cada instante.

## **Instrumentación**

### Caudalímetro.

En la entrada del agua residual en el proceso se instalará un caudalímetro electromagnético marca Danfoss, modelo MAG 3100 W con convertidor de señal MAG 5000. Este tipo de caudalímetro es ideal para aguas residuales, siendo totalmente compatible en cuanto a fiabilidad con respecto a las normativas ambientales vigentes.

El uso del caudalímetro tiene como misión controlar el caudal de fangos que entran en el proceso de digestión, pudiendo así controlar la recirculación de fangos y el nivel en el digestor y decantador.

Las características de este caudalímetro serán:

Conexión: brida

Presión: Máx 40 bar

Temperatura: -10 a 95°C

Revestimiento interior: Neopreno

Electrodo: AISI 316 Ti

Protección: IP 67

Conexión eléctrica: 4-20m

#### Medidor de temperatura.

Se empleará una sonda de temperatura con sensor intercambiable. Esta sonda irá instalada en el interior del digestor mediante una vaina que atravesará la pared del mismo.

La temperatura en el interior del digestor deberá ser de 35°C.

La sonda que se utilizará será de la marca Danfoss modelo MBT 5252, con sonda termométrica Pt 100, cabeza DIN B y sensor intercambiable.

Las características de esta sonda son:

Rango de medición: -50 a +400° C

Protección: IP 65

Materiales: Conexión del proceso, tubo de protección, tubo de extensión: AISI 316. Tuerca de unión: latón niquelado.

Tiempo de respuesta:	9 segundos
Longitud de inserción:	150 mm
Conexión a proceso:	G ½" A
Conexión eléctrica:	4 - 20 mA

### Medidor de pH

El medidor de pH permitirá el control de pH del proceso e irá instalado en el digestor. El pH deberá de estar en torno a 7 para garantizar que la digestión se está desarrollando correctamente.

La marca del medidor de pH que se empleará será Dosapro Milton Roy, con sonda industrial M-1D y transmisor APP.

Las características del transmisor-regulador de pH empotrable y de la sonda serán:

- Transmisor-regulador de pH empotrable:

Caja: 96 x 96 mm, empotrable

IP-30 Indicador a ½"

Escala de medición: 0 – 14 pH

Salida analógica: 4 – 20 mA

Alimentación: 230 V – 50 Hz

- Sonda de pH:

Cuerpo de PFS

Bulbo de vidrio protegido por un terminal

pH: 0 – 14

Presión máxima: 6 bares

Conexión mediante tubo

Longitud: 140 mm

#### Medidor de potencial Redox

Permitirá controlar el potencial redox del proceso. La sonda irá instalada en el interior del digestor.

La marca a emplear será Dosapro Milton Roy, con transmisor APP y sonda M-10 ORP.

Las características de transmisor – regulador Redox y de la sonda serán:

- Transmisor – regulador redox:

Caja 96 x 96 mm empotrable

Escala de medición: -999 a 999 mV

Salida analógica: 4 –20 mA

Alimentación: 230 V – 50 Hz

- Sonda M-10 ORP

Montaje en tubo

Cuerpo de PFS

Bulbo de vidrio protegido por un terminal

Temperatura: -10 a 80°C

Longitud: 140 mm

Redox: -999 a 999 mV

Elemento sensible de platino

### Autómata

El proceso irá controlado desde un autómata marca OMRON modelo CQM1H, con cinco entradas analógicas para lectura de los valores del caudalímetro y los medidores de pH, redox y temperatura.

Este autómata irá provisto de:

CPU con 16 entradas digitales incorporadas:

CQM1H CPU 51

Fuente de alimentación: CQM1PA216

Módulo de 16 salidas digitales: CQM1OC222

Módulo I/O analógicas: CQM1HMAB42

Módulo I/O analógicas: CQM1AD0042



## 5. BIBLIOGRAFÍA.

Fernández Díez et al, 1985

Castro et al., 1983

Brenes et al., 1990

Fernández et al,1992

Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. Madrid. Fundación EOI 2007.

Proceso tradicional de aderezo de aceitunas verdes de mesa.Racionalización del cocido, por S. Jaramillo Carmona, A. de Castro y L. Rejano Navarro.

### WEBS

<http://www.lenntech.es/>

[www.abcgro.com](http://www.abcgro.com)

<http://aula.aguapedia.org/>

Phenolic profile and antioxidant activity of olive fruits of the Turkish variety “Sariulak” from different locations, by D. Arslan and M.M.Özcan.

Procedimiento para la conservación de aceitunas verdes aderezadas mediante tratamientos térmicos previos a su envasado, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Nuevas tendencias en el tratamiento alcalino “cocido” de las aceitunas verdes aderezadas al estilo español o sevillano, por Luis Rejano Navarro, Antonio-Higinio Sánchez-Gómez y Victorino Vega Macía.

Influence of brine concentration on sugar and sodium chloride diffusion during the processing of the green olive variety Arauco, by M. B. Maldonado, C. A. Zuritz, and N. Miras.

Difusión de sodio en aceitunas verdes durante el tratamiento alcalino. I: Efecto de la concentración de la lejía, por Mariela B. Maldonado, Carlos A. Zuritz, Alejandro D. Gascón y Enrique Rey.

A simple model of the diffusion phenomena taking place during the debittering process of green table olives, by Mariela B. Maldonado, Carlos A. Zuritz, Rodolfo G. Wuilloud, Carlos R. Bageta, Jorge Terreni and María José Sánchez.

En Sevilla, Marzo de 2012

Alumno de MPIGMA 2010-2012

## VALORACIÓN DE PROYECTO

**CURSO: MASTER PROFESIONAL EN INGENIERÍA Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL, EDIC.2010-11**

TÍTULO DEL PROYECTO	INTRODUCCIÓN DE MEJORAS EN EL PROCESO DE ADEREZO DE ACEITUNAS
ALUMNO	JOAQUÍN JESÚS MONTES MONTES
TUTOR	M <sup>a</sup> FRANCISCA OLMO MIRA

**VALORACIÓN DEL PROYECTO:**

1. GRADO DE PARTICIPACIÓN DEL ALUMNO

- ALTO GRADO DE PARTICIPACIÓN E IMPLICACIÓN  
 DEDICACIÓN NORMAL, SIN EXCESIVO ESFUERZO  
 BAJA DEDICACIÓN, POCO ESFUERZO

2. APLICACIÓN REAL A UNA EMPRESA

- ALTA                       NORMAL                       BAJA

3. LOS OBJETIVOS INICIALES DEL PROYECTO:

- SE HAN CUMPLIDO  
 SE HAN IDO ADAPTANDO A LAS CIRCUNSTANCIAS  
 NO SE HAN ALCANZADO

4. LA CALIDAD TÉCNICA DEL PROYECTO ES:

- ALTA                       NORMAL                       BAJA

5. LA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO Y LA DOCUMENTACIÓN ANEXA ES:

- BUENA                       NORMAL                       NO ADECUADA

6. LA CALIFICACIÓN QUE UD. LE DA AL PROYECTO ENTRE 0 Y 10 PUNTOS ES DE: 8 PUNTOS.

7. OBSERVACIONES:



Fdo: El Tutor, M<sup>a</sup> Francisca Olmo Mira

Fdo: El Director del Curso