



Universidad de Valladolid

Escuela de Ingeniería de la Industria Forestal,
Agronómica y de la Bioenergía

Campus de Soria

GRADO EN INGENIERÍA AGRARIA Y ENERGÉTICA

TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA EDAR DE LERMA (BURGOS) CON DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR PARA CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS



AUTOR: VIRGINIA ARAGUZO CARBALLERA

DEPARTAMENTO: Ingeniería Agrícola y Forestal

TUTORA: María Pilar Lisbona Martín

COTUTORA: Virginia Pérez López

SORIA, Julio de 2018

AUTORIZACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO FIN DE GRADO

D.^a MARÍA PILAR LISBONA MARTÍN, profesora del departamento de INGENIERÍA AGRÍCOLA Y FORESTAL, como tutora del TFG titulado PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA EDAR DE LERMA (BURGOS) CON DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR PARA CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS, presentado por la alumna D.^a VIRGINIA ARAGUZO CARBALLERA, da el Vº. Bº. y autoriza la presentación del mismo, considerando que cumple con los requisitos para ser presentado como Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Agraria y Energética de la Universidad de Valladolid.

Soria, 17 de Julio de 2018

La Tutora del TFG,

LISBONA
MARTIN MARIA
PILAR - DNI
25464258S

Firmado digitalmente por LISBONA
MARTIN MARIA PILAR - DNI 25464258S
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES,
o=UNIVERSIDAD DE VALLADOLID,
ou=certificado electrónico de empleado
público, serialNumber=25464258S,
sn=LISBONA MARTIN,
givenName=MARIA PILAR, cn=LISBONA
MARTIN MARIA PILAR - DNI 25464258S
Fecha: 2018.07.17 12:52:10 +02'00'

Fdo.: María Pilar Lisbona Martín

RESUMEN DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

Título: PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA EDAR DE LERMA (BURGOS)
CON DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR PARA EL CULTIVO DE
MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS

Autora: Virginia Araguzo Carballera

Dpto: Ingeniería Agrícola y Forestal

Tutora: María Pilar Lisbona Martín

RESUMEN:

El presente Trabajo de Fin de Grado se presenta como un Proyecto de modificación de la EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) del municipio de Lerma, Burgos; sustituyendo los equipos y procesos relativos al tratamiento secundario del agua a tratar por un reactor abierto con estructura en canales, en el cual se desarrolle un cultivo de microalgas con alta producción de lípidos y capaces de eliminar nutrientes y metales pesados del agua residual que les servirá de medio, y los equipos necesarios para la cosecha del cultivo y para la extracción de los lípidos celulares de dicha biomasa. La aplicación final de dichos lípidos será su utilización como materia prima para la producción de biodiésel, es decir, se le dará un uso energético al cultivo.

En este Proyecto se proponen las alternativas elegidas, se desarrollan los pasos para el cálculo y dimensionamiento de las nuevas instalaciones y se señalan los equipos, sistemas y/o aparatos auxiliares necesarios. Se incorpora también el estudio del nuevo proceso y del recorrido del flujo tras la sustitución de los equipos, además de valorar tanto el tratamiento del agua como la obtención de lípidos que servirán como materia prima para la obtención de biodiesel.

Con este Trabajo Fin de Grado se pretende valorizar una de las etapas de la clarificación de aguas residuales añadiendo un cultivo energético y obteniendo productos de muy alto valor añadido, beneficiando así al medio ambiente en diversos sentidos. La aplicación final de dichos lípidos será su utilización como materia prima para la producción de biodiésel, es decir, se le dará un uso energético al cultivo.

ÍNDICE GENERAL DEL PROYECTO

DOCUMENTO I . MEMORIA

DOCUMENTO II . ANEJOS A LA MEMORIA

- Anejo 1. ESTADO DEL ARTE DEL CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS
- Anejo 2. SITUACIÓN ACTUAL
- Anejo 3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS
- Anejo 4. DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR HRAP *RACEWAY*
- Anejo 5. LA COSECHA DE LA BIOMASA: DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN
- Anejo 6. DIMENSIONAMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS MEDIANTE ULTRASONIDOS
- Anejo 7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS DE LOS SOLVENTES
- Anejo 8. TUBERÍAS Y BOMBAS
- Anejo 9. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
- Anejo 10. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA
- Anejo 11. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD
- Anejo 12. EVALUACIÓN ECONÓMICA

DOCUMENTO III . PLANOS

DOCUMENTO IV . PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO V . PRESUPUESTO

Documento I:

MEMORIA

ÍNDICE DEL DOCUMENTO I: MEMORIA

1. Objeto del proyecto	1
1.1 Objeto y naturaleza del proyecto	1
1.2 Agentes	1
1.3 Emplazamiento	1
2. Antecedentes	3
2.1 Motivaciones	3
2.2 Situación actual	4
3. Estudio de las alternativas	6
4. Ingeniería del proyecto	7
4.1 Descripción del nuevo proceso de fotobiorremediación	7
4.1.1. Balances de materia y energía	8
4.2 Dimensionamiento de los equipos	11
4.2.1. Reactor HRAP <i>raceway</i>	11
4.2.2. Cosecha de la biomasa: centrifugación	13
4.2.3. Extracción de lípidos mediante ultrasonidos	13
4.2.4. Depósitos de solventes	14
4.3 Instalación hidráulica: tuberías y bombas	14
4.4 Instrumentación y control	15
4.5. Instalación eléctrica	16
4.6. Instalación de saneamiento	16
5. Urbanización	17
6. Estudio de seguridad y salud	17
7. Planificación de la implantación	17
8. Presupuesto	18
9. Evaluación económica	18

1.- Objeto del proyecto

1.1.- Objeto y naturaleza del proyecto

El presente proyecto se redacta como el diseño para la modificación de la EDAR (estación depuradora de aguas residuales) ubicada en el municipio de Lerma que recibe un total de 20.000 metros cúbicos anuales de purín ($54,8\text{m}^3/\text{día}$) provenientes de una explotación porcina de 10.000 cabezas de ganado.

El proceso para tratar el agua residual y aprovechar su posterior uso como agua de riego consta de tres etapas fundamentales descritas en detalle en el Anejo 1, siendo objeto de este proyecto la sustitución de los equipos que intervienen en la segunda fase (el sistema de lodos activos y la nitrificación por parte de las bacterias heterótrofas) por un fotobiorreactor, en el cual se realizará el tratamiento secundario de manera aerobia en presencia de bacterias y un cultivo microalgal. Adicionalmente, se presentarán las instalaciones propias de los equipos necesarios para la cosecha de la biomasa y la extracción de los lípidos celulares que resultarán materia prima para la producción de biodiesel. De esta manera, se valorizará un tratamiento secundario con aprovechamiento de productos de alto valor añadido. Para el desarrollo y viabilidad de este proyecto, es necesario contemplar varios puntos críticos del proceso como son:

- La selección de la cepa de microalga para el cultivo
- La selección de la tecnología de cultivo más adecuada y el diseño del reactor
- La optimización de la extracción de los lípidos obtenidos

1.2.- Agentes

Titular promotor:

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN
Sección agraria comarcal de Lerma
09340 Lerma (Burgos)

Técnico proyectista competente:

VIRGINIA ARAGUZO CARBALLERA
Estudiante del Grado en Ingeniería Agraria y Energética
CIF: 71311278P
09007 Burgos (Burgos)

1.3.- Emplazamiento

La estación depuradora de aguas residuales se ubica a las afueras del casco urbano de la villa de Lerma, perteneciente al municipio del mismo nombre y capital de la comarca de Arlanza, en la provincia de Burgos, Castilla y León (*Figuras 1, 2 y 3*). La planta se extiende sobre una parcela de 3ha y cuenta con el espacio libre disponible suficiente para implantar el fotobiorreactor diseñado con las dimensiones requeridas así como los nuevos equipos del tratamiento secundario.



Figura 1. Localización de Lerma dentro de la provincia de Burgos
[Fuente: búsqueda online]



Figura 2. Localización de la EDAR en Lerma
[Fuente: Google Maps]



*Figura 3. Vista aérea de la EDAR de Lerma
[Fuente: Google Maps]*

Datos geográficos de la ubicación de la planta:

- Latitud 42° 1' 50" N
- Longitud 3° 46' 5" W
- Altitud 850 m
- Temperatura media anual: 11,2°C

2.- Antecedentes

2.1.- Motivaciones

Uno de los principales problemas del sector ganadero es el alto volumen de aguas residuales que deben ser tratadas para evitar la problemática ambiental asociada al vertido de efluentes ricos en nutrientes y materia orgánica que provocan eutrofización de ríos y lagos y la contaminación del medio. Por ello, las plantas de tratamiento y depuración de estas aguas residuales o purines son necesarias y están altamente extendidas por todo el planeta. Sin embargo, una nueva tecnología de fitobiorremediación con microalgas no sólo es capaz de paliar el problema de la contaminación de aguas residuales sino que también actúa de manera ventajosa con el medio ambiente cuando esta biomasa es utilizada para otros fines energéticos.

De esta manera, utilizando el cultivo microalgal cuyo objetivo principal es la depuración de aguas residuales para la obtención de lípidos y su posterior transformación en biodiésel, se actúa a favor de las energías renovables, al tiempo que se genera un producto de alto valor en el mercado que previsiblemente seguirá en alza. Este biocombustible tiene una emisión nula de gases de efecto invernadero.

Estos gases de efecto invernadero (GEI) son emitidos principalmente en la combustión de materiales fósiles con fines de aprovechamiento energético. Los GEI se acumulan en la atmósfera y retienen el calor, devolviendo a la tierra la radiación infrarroja y provocando el conocido calentamiento global que hace que se incremente o acelere el calentamiento global de origen antropogénico.

El promotor del presente proyecto, la Junta de Castilla y León, solicita la modificación de la planta depuradora de Lerma (Burgos) con vista a los múltiples beneficios que aportará este nuevo proceso de fitobiorremediación con obtención de productor de alto valor: se podrá valorizar una de las etapas del tratamiento de aguas residuales mientras que estas servirán de medio de cultivo de microalgas en un fotobiorreactor. Dentro de los beneficios de dicho planteamiento destacan el ahorro económico que sufrirá la planta así como llevar a cabo una clarificación de aguas residuales más respetuosa con el medioambiente, cerciorando así un cumplimiento de los objetivos medioambientales en el sector. Por otro lado, la obtención de materia prima para la generación de biocombustibles (biodiésel en este caso) le otorga al proyecto un gran punto positivo medioambiental; de manera que la Junta de Castilla y León ejerza un poder sobre la producción de biocombustibles autóctonos pudiendo cubrir así los objetivos del Plan de Energías Renovables (PER 2011 – 2020).

2.2.- Situación actual

En el Anejo 2 se desarrolla la descripción de la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales, siendo de especial importancia este apartado debido a que el objetivo del proyecto es el diseño de una modificación a la instalación existente. Por ello se hace necesario conocer los equipos y los respectivos procesos que operan en la actualidad y que serán eliminados y sustituidos.

En el diagrama de bloques de la *Figura 4* se presenta un esquema de los procesos y sistemas con los que actualmente cuenta la planta, marcando en color rojo aquellos que pertenecen al tratamiento secundario y que, por lo tanto, serán sustituidos por el nuevo sistema de fitobiorremediación. En el actual modo de operación de la planta, se alimenta a la EDAR el agua residual, con altos contenidos de Nitrógeno y Fósforo. Este flujo sufre primeramente un tamizado para la eliminación de los sólidos de mayor tamaño, seguido de una sedimentación que ayuda a clarificar el agua de sólidos apreciables. Posteriormente se desarrolla un proceso biológico que combina una gran fase aerobia con pequeñas etapas anaerobias y anóxicas, para eliminar materia orgánica y nutrientes del agua, con producción de lodos. A continuación, y ya en el tratamiento terciario, se eliminan los contenidos residuales de nitrógeno y fósforo, por biodegradación en un tanque anóxico el primero, y por precipitación química el segunda. El agua clarificada que sale de la planta se utiliza para riego en la zona.

Los equipos y operaciones representadas en verde, correspondientes a los tratamientos primario y terciario, no sufrirán modificaciones, de manera que los nuevos sistemas se diseñarán buscando su correcta incorporación en la línea total del proceso.

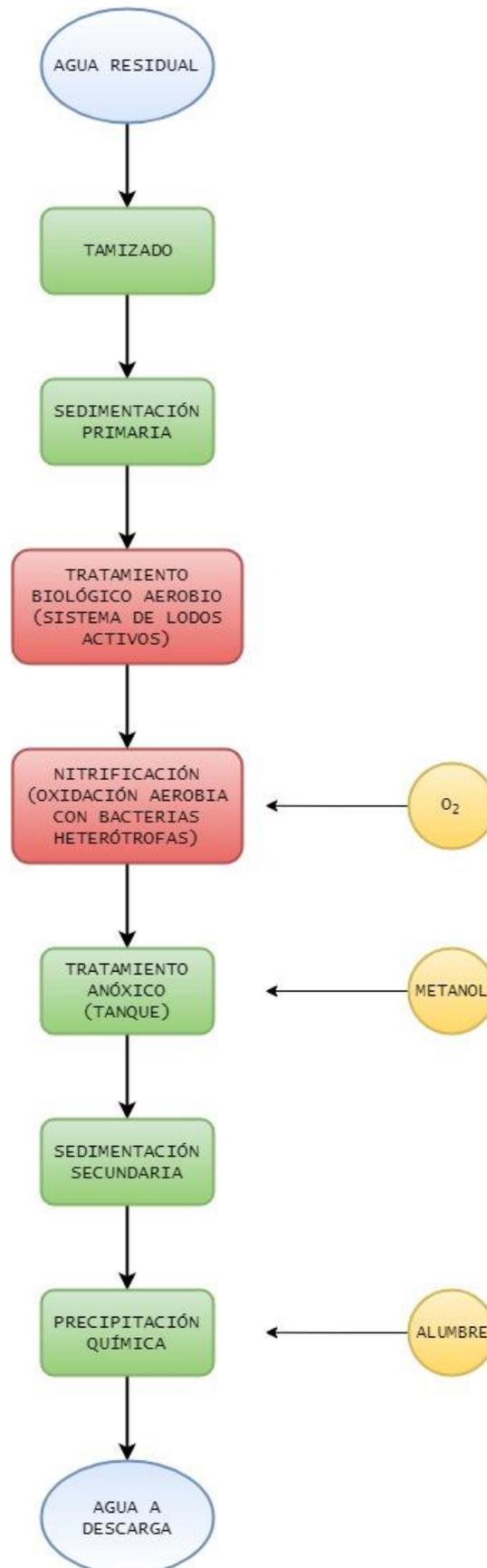


Figura 4. Diagrama de bloques de la situación actual
[Fuente: elaboración propia]

3.- Estudio de alternativas

Como se ha indicado anteriormente, para que la sustitución de los equipos empleados en el tratamiento secundario de las aguas residuales por una tecnología aerobia microalgal desarrollada en un fotobiorreactor sea efectiva y viable, es necesario valorar las diferentes alternativas existentes con el fin de realizar una selección lo más ventajosa posible. Estas opciones deben ser evaluadas en tres puntos principales: el tipo y cepa de alga que se busca cultivar, el reactor más apropiado para su cultivo con el medio disponible y las tecnologías de cosecha de biomasa y extracción de lípidos.

Selección de la especie de microalga para el cultivo:

Debido a que el propósito de esta modificación es aprovechar la sinergia de la depuración de estas aguas con un cultivo microalgal con fines energéticos, uno de los puntos críticos es la elección de la cepa a cultivar ya que de ella dependerá tanto la productividad final en biomasa como la eliminación de materia orgánica y nutrientes del efluente. Por otro lado, una vez conocida la microalga que se establecerá como cultivo, se buscará el reactor más apropiado para el desarrollo del cultivo con control de los parámetros para que sean lo más cercanos a su óptimo de condiciones de crecimiento.

En el Anejo 3: Estudio de las alternativas, se describen los géneros de microalgas más provechosos para el fin buscado, presentando las diversas alternativas valoradas. Tras su comparación, se selecciona el cultivo del género *Scenedesmus*, en concreto, la cepa *Scenedesmus obliquus* ya que es la opción con mayor equilibrio entre eficacia en biofitorremediación de aguas residuales y producción de lípidos. Se considera realizar en cultivo microalgal en presencia de bacterias promotoras del crecimiento de manera que la productividad sea más alta en un periodo de tiempo más corto y se garanticen altos contenidos lipídicos en las células microalgales, además de evitar la necesidad de aireación y/o inyección de oxígeno.

Selección del reactor para el cultivo de microalgas:

En el Anejo 3, se presentan los diversos tipos de reactores existentes y disponibles, y se describen y caracterizan cada uno de ellos. La elección consta de un reactor abierto (HRAP) tipo *raceway* debido a su bajo coste, su facilidad de diseño y escalado así como de construcción, y su bajo gasto energético en comparación con su eficiencia. Se propone un diseño en canales del reactor con un sistema de mezcla del medio de cultivo. Ciertos reactores de este tipo presentan también un sistema adicional de inyección de CO₂; sin embargo, en este proyecto se espera conseguir el desarrollo de un cultivo mixto de microalgas y bacterias en el cual el ciclo de dióxido de carbono se lleve a cabo completamente de manera biológica.

Selección del sistema de obtención de los lípidos microalgales:

En esta fase del cultivo microalgal es donde pueden producirse mayores incrementos de capital lo cual hace que el proceso pierda rentabilidad. Esto se debe a que la cosecha del cultivo debe ser realizada cuidadosamente para que las células no sufran daños que hagan imposible la posterior extracción de los aceites. Las alternativas disponibles, algunas de ellas aún en desarrollo sin aplicación a grandes plantas, se presentan en el Anejo 3: Estudio de las alternativas.

Se propone utilizar un sistema de separación y cosecha mediante centrifugación debido que los equipos necesarios son los más adecuados para cultivos microalgales a gran escala sin encarecer el proceso.

A continuación, para la extracción de los lípidos celulares, se decide utilizar un equipo de ultrasonido debido a su posibilidad de trabajar con sistemas húmedos por lo que no es necesario deshidratar la biomasa anteriormente, a que existen en el mercado equipos que pueden emplearse industrialmente y su precio no es muy elevado, y a que trabajan de manera automática, sencilla y suficientemente rápida. Además, se combinará con una extracción con solvente químico, utilizando el método de Bligh & Dyer para facilitar y acelerar el proceso.

4.- Ingeniería del proyecto

Una vez definidos el objeto y elementos del proyecto, pasamos a la descripción y el dimensionamiento de los equipos que serán diseñados e instalados, así como el cálculo de los balances de materia y energía.

4.1.- Descripción del nuevo proceso de fotobiorremediación

En la *Figura 5* más adelante se muestra y representa el diagrama de bloques de las nuevas etapas del tratamiento de aguas residuales, objeto del proyecto, con las modificaciones pertinentes del tratamiento secundario y su sustitución por los nuevos sistemas (representados en color morado): reactor HRAP, centrifugación y ultrasonificación. Los tratamientos primario y terciario (de color verde) no presentan cambios respecto a la situación actual de la planta.

El nuevo proceso de fotobiorremediación comienza a la salida del sedimentador primario, de donde el agua sale hacia el reactor HRAP raceway que se instalará. Allí, el efluente permanecerá 4 días, siendo medio de cultivo para la microalga elegida, de manera que los nutrientes, materia y metales pesados que esta necesite para crecer y desarrollarse, serán eliminados del agua residual produciéndose así su depuración. Posteriormente, este flujo de agua con concentración microalgal, pasará a una centrífuga para cosechar el cultivo mediante sedimentación. En este momento, el flujo se divide en dos. La parte de agua clarificada pasará al tratamiento terciario ya presente en la planta y que no se modificará (tanque anóxico y precipitación química); y la pasta biológica, junto con una pequeña cantidad de metanol y cloroformo, sufrirá una sonicación en un equipo de ultrasonidos para producir una lisis celular y una extracción de los lípidos celulares microalgales.

En la *Figura 6* más adelante, se puede observar un diagrama del flujo másico del nuevo proceso de tratamiento, representando los principales equipos que se instalarán en el proyecto, con la leyenda de notaciones en las *Tablas 1* y *2*. La corriente de flujo proveniente del sedimentador primario presente en la planta actualmente será conducida al fotobiorreactor, de donde saldrá una línea de conexión que llevará el efluente del cultivo hasta la centrífuga.

En este punto, el flujo se divide en dos, existiendo una salida hacia el tanque anóxico que llevará el agua clarificada, y otra hacia el equipo de ultrasonidos conduciendo la pasta formada por la biomasa húmeda.

4.1.1.- *Balances de materia y energía*

En el Anejo 10: Balances de materia y energía, se valoriza cada una de las etapas, describiendo los fenómenos que tienen lugar así como evaluando y calculando las características de los flujos durante todo el proceso, comparando sus valores en las entradas y salidas de cada uno de los equipos. Además, se calcula la energía necesaria que se consumirá para llevar a cabo correctamente cada uno de los pasos.

Tabla 1. Notación de los equipos empleados en el proceso

EQUIPOS EMPLEADOS	
R-1	Reactor HRAP <i>raceway</i>
B-1	Bomba de reactor a centrífuga
E-1	Equipo de centrifugación
E-2	Equipo de ultrasonidos
D-1	Depósito de metanol
D-2	Depósito de cloroformo

Tabla 2. Notación de las líneas y corrientes del proceso

LÍNEAS DEL PROCESO		
L-1	Efluente sedimentado	Corriente 1
L-2a	Salida de reactor, aspiración B-1	Corriente 2a
L-2b	Salida de reactor, impulsión B-1	Corriente 2b
L-3	Agua clarificada	Corriente 3
L-4	Pasta de biomasa húmeda	Corriente 4
L-5	Metanol	Corriente 5
L-6	Cloroformo	Corriente 6

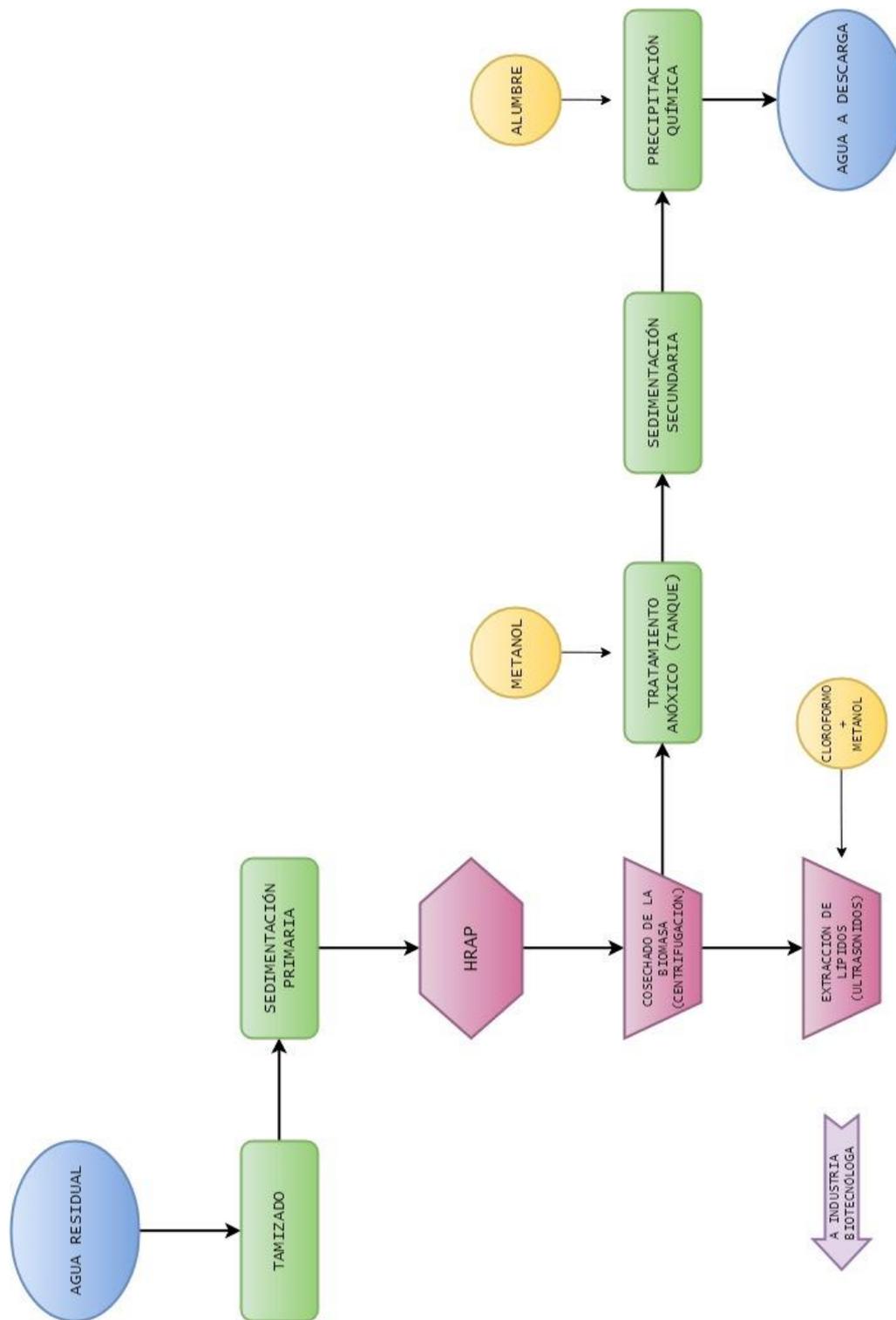


Figura 5. Diagrama de bloques del nuevo proceso de tratamiento de aguas residuales [fuente: elaboración propia]

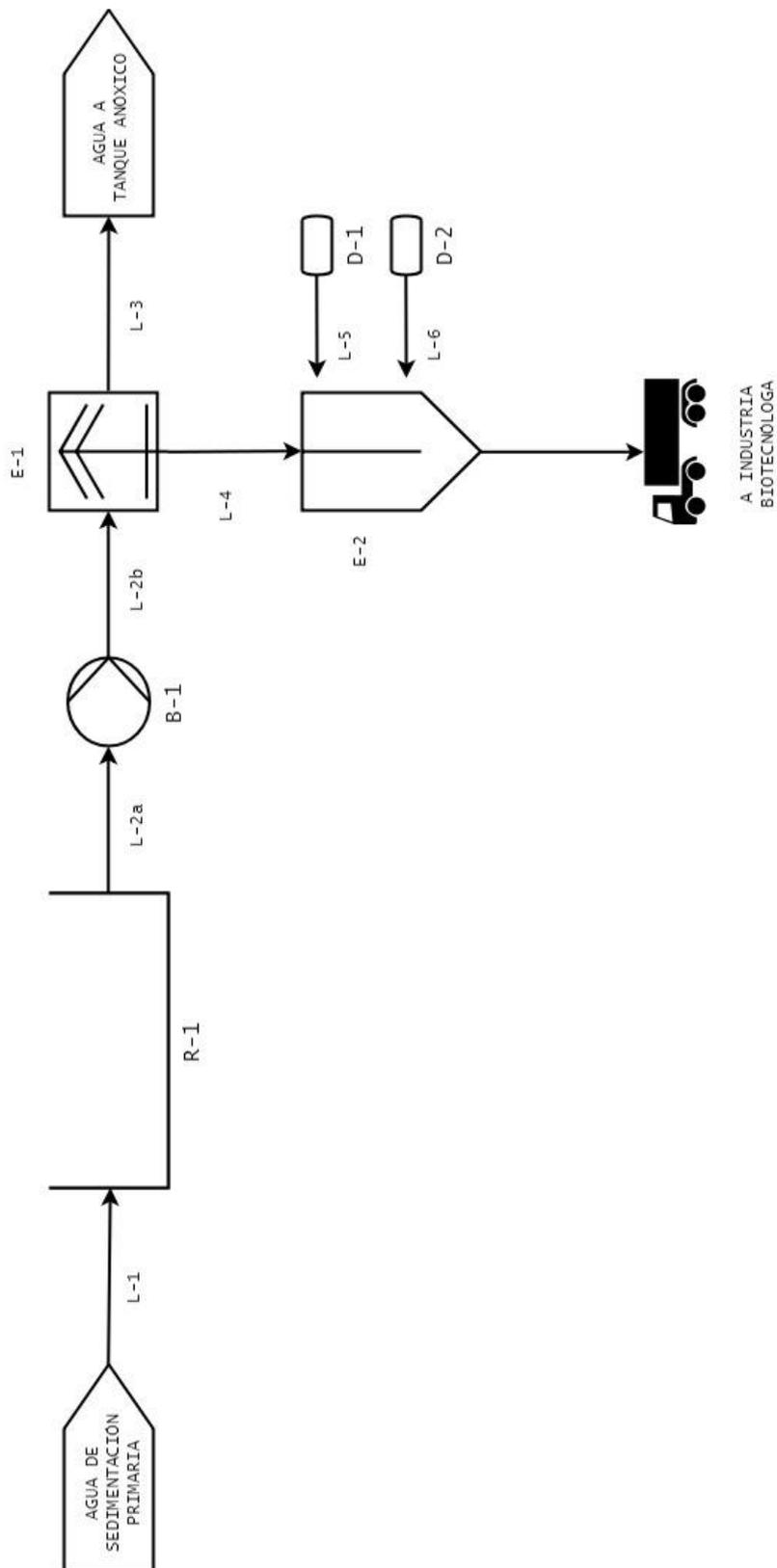


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso
[Fuente: elaboración propia]

4.2.- Dimensionamiento de equipos

4.2.1.- Reactor HRAP raceway

Como objeto del proyecto, se busca sustituir el sistema de lodos activos y la posterior nitrificación aerobia con bacterias de los efluentes sometidos por un fotobiorreactor en el cual se produzcan ambos fenómenos. Al tratarse de una modificación de una planta existente, se conoce el caudal de agua diario que es sometido a estos tratamientos, tratándose de 72,64 m³/día. Se instalará un fotobiorreactor tipo *raceway* de polietileno blanco estructurado en dos canales, en el Anejo 4: Dimensionamiento del reactor HRAP *raceway* se desarrollan todos los cálculos pertinentes al dimensionamiento del reactor, que se resumen en la *Tabla 3*:

Tabla 3. Dimensiones del reactor

REACTOR HRAP RACEWAY	
Profundidad del canal (m)	0,25
Número de canales (ud)	2
Longitud del canal (m)	110
Anchura del canal (m)	5,50
Anchura total del reactor (m)	11
Superficie total(m ²)	1210
Volumen productivo (m ³)	302,5

Debido a que el diseño propuesto del reactor tiene una estructura en canales, se propone un sistema de agitación que facilite el flujo del cultivo, transporte y distribución de materia y gas y mezcla de los microorganismos para que pasen de zonas oscuras a iluminadas.

El agitador será de paletas de manera que cree un flujo turbulento pero que genere una velocidad de 0,30 m/s para evitar daños celulares. Al igual que los cálculos anteriores, los correspondientes a las características técnicas del agitador se encuentran en el Anejo 4 y se resumen en la *Tabla 4* a continuación:

Tabla 4. Características técnicas del agitador de palas

AGITADOR DE PALAS	
Caudal de cultivo en movimiento(m ³ /s)	0,30
Velocidad media del flujo(m/s)	0,30
Radio hidráulico de las palas(m)	0,23
Reynolds (adimensional)	273000
Diferencia de altura creada(m)	0,02
Eficiencia paddle wheel	0,50
Potencia del motor para palas por Oswald(kW)	0,12
Potencia del motor (CV)	0,16
Consumo de energía(W/m ³)	0,40

Se instalará un aireador modelo 1HP de 2 impulsores de la marca MOAFMadan o similar, (*Figura 7*) quedando el conjunto del reactor como se muestra en el esquema de la *Figura 8*.

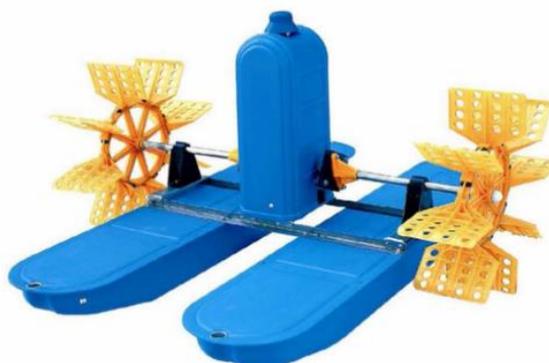


Figura 7. Aireador 1HP de 2 impulsores de MAOFMadan

[Fuente: www.maofmadan.com]

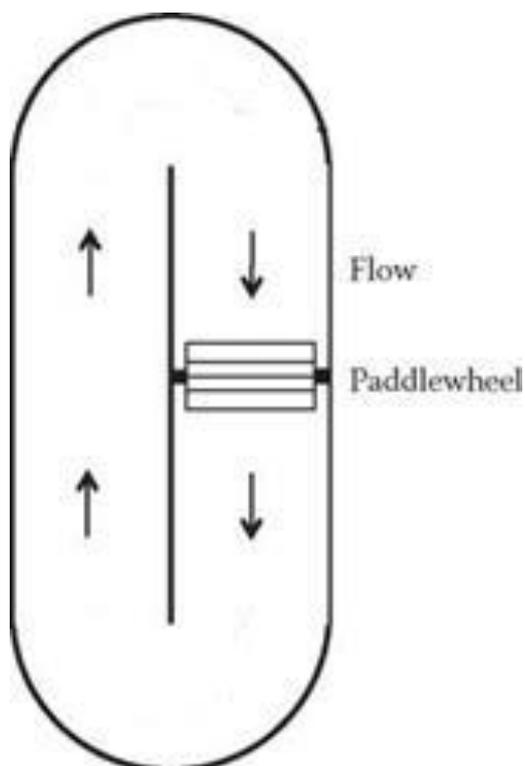


Figura 8. Esquema de la configuración del reactor HRAP raceway

[Fuente: Hernández Pérez, A. H. 2014. *Microalgas: cultivo y beneficios*. Revista de Biología Marina y Oceanografía de la Universidad de Valparaíso, Chile]

4.2.2- Cosecha de la biomasa: centrifugación

Tal y como se especifica en el Anejo 5: Dimensionamiento de la cosecha de la biomasa: centrifugación, se propone la instalación de un equipo centrífugo para la separación de los elementos sólidos (biomasa microalgal) del flujo líquido, de manera que se realice la cosecha del cultivo. En el mismo Anejo 5 se especifican los fundamentos y puntos a tener en cuenta para su instalación, concluyendo con la decisión de instalar la centrífuga AC1000 de la marca Flottweg o similar (*Figura 8*), y describiendo sus características técnicas, una centrífuga de discos que trabaja con una capacidad hidráulica de 10.000l/h, apta para medianas instalaciones como la del presente proyecto.



Figura 9. Centrífuga AC10000 de Flottweg

4.2.3.- Extracción de lípidos mediante ultrasonidos

Como se ha decidido en el apartado 3, para el proceso de la extracción de los lípidos presentes en el interior de las células microalgales, se utilizará un sistema de ultrasonidos que mediante cavitación provoca el rompimiento de las paredes celulares y la expulsión de sus compuestos. Para facilitar este trabajo, se realizará en conjunto con el método de extracción de Bligh & Dyer, añadiendo a la biomasa húmeda procedente de la centrífuga, cloroformo y metanol en las proporciones específicas. En el Anejo 6: Dimensionamiento de la extracción de lípidos mediante ultrasonidos, se describe el proceso mencionado anteriormente y se especifican ciertas características de su desarrollo.

Se propone la instalación de un dispositivo de ultrasonidos de la marca alemana líder en tecnología ultrasónica Hilscher, el modelo UIP500hd (*Figura 9*) del que se detalla más información en el Anejo mencionado.



Figura 10. Dispositivo de ultrasonidos UIP500hd de Hielscher
[Fuente: www.hielscher.com]

4.2.4.- Depósito de los solventes

Se ha determinado que para la extracción de los lípidos celulares se utilizarán dos solventes: metanol y cloroformo, siguiendo el método de Bligh & Dyer. Por lo tanto, estos productos químicos deberán ser almacenados de manera correcta en unos depósitos particulares, desde los cuales se inyectarán en el equipo de ultrasonidos. En el Anejo 7: Dimensionamiento de los depósitos de los solventes se calculan los volúmenes de estos depósitos (con una capacidad considerada del doble diaria necesaria) además de decidir los materiales de su construcción. En la *Tabla 5* se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 5. Características de los depósitos de los solventes químicos

DEPÓSITO	VOLUMEN	MATERIAL
D – 1 Metanol	m ³ 0,0064	Acero de bajo carbono
D – 2 Cloroformo	m ³ 0,0032	Acero revestido en plomo

4.3.- Instalación hidráulica: tuberías y bombas

En el Anejo 8: Tuberías y bombas, se realizan los cálculos correspondientes a las líneas de conexión entre cada uno de los equipos, proponiendo una red de tuberías cuyas características más importantes se resumen en la *Tabla 6*. Además, se dimensiona la bomba (B – 1), resultando en una potencia real mínima necesaria de 20,21W y se propone la adquisición del modelo de bomba centrífuga ECM 050 de la marca Vulcano (*Figura 11*), de 0,50cv.

Tabla 6. Caracterización de la red de tuberías

	LÍNEA L-1	LÍNEA L-2a	LÍNEA L-2b	LÍNEA L-3	LÍNEA L-4	LÍNEA L-5	LÍNEA L-6
Q (m³/s)	0,008	0,0025	0,0025	0,0024	-	1,1·10 ⁻⁷	5,5·10 ⁻⁸
ρ (kg/m³)	1020	1100	1100	1020	-	792	1483
μ (kg/m·s)	0,001	0,002	0,002	0,001	-	0,00052	0,000563
D nominal (m)	0,10	0,065	0,065	0,065	0,08	0,010	0,010
V real (m/s)	1,01	0,75	0,75	0,72	-	0,0014	0,0007
Longitud (m)	3,00	2,00	0,60	3,00	0,60	0,50	0,50
Diferencia de altura (m)	0,00	0,00	0,60	0,00	0,60	0,00	0,00
Válvula (ud.)	0	1	0	0	0	1	1
Codo 90° (ud.)	0	0	1	0	0	0	0
Pérdida de carga (m.c.a)	0,03	0,02	0,01	0,03	-	0,00	0,00
Material	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	Acero	Acero



Figura 11. Bomba centrífuga modelo ECM 050 de Vulcano [Fuente: www.vulcano-sa.com]

4.4.- Instrumentación y control

Para un correcto funcionamiento de los procesos, se realizará un seguimiento de los parámetros del flujo en cada uno de los equipos, controlando las características más importantes para verificar la eficiencia de operación. En el Anejo 9: Instrumentación y control, se describe la estrategia de control y posicionan los sensores dentro del proceso total que se enumeran la *Tabla 7*.

Tabla 7. Unidades y posición de los sensores de control

INSTRUMENTOS DE CONTROL (ud. totales)		L-1	L-2a	L-2b	L-3	L-5	L-6	R-1	D-1	D-2
TT	Sensor/transmisor de temperatura	4	1	-	1	-	-	-	1	1
PT	Sensor/transmisor de presión	6	1	1	2	-	1	1	-	-
FT	Sensor/transmisor de caudal	8	1	2	2	1	1	1	-	-
LT	Sensor/transmisor de nivel	3	-	-	-	-	-	1	1	1
YP	Sensor/transmisor de pH	1	-	-	-	-	-	1	-	-
OP	Sensor/transmisor de oxígeno	1	-	-	-	-	-	1	-	-
	Válvula de control automática	3	-	1	-	-	1	1	-	-

4.5.- Instalación eléctrica

La instalación eléctrica a implantar para abastecer de energía los nuevos equipos, se subcontrata a otra empresa, en preferencia la empresa que realizó la instalación eléctrica en la implantación primaria de la EDAR debido a que se trata de una modificación de esta; por lo tanto, no se incluye su desarrollo ni su presupuesto en el presente proyecto.

La energía eléctrica consumida por los nuevos equipos será suministrados por la compañía Iberdrola, como ya ocurre en la planta original, en baja tensión, siendo la tensión de línea:

- 230V en fase y neutro (monofásico)
- 400V entre las fases y el neutro (trifásico)

La iluminación, dentro de lo posible, no se modificará debido a que todo el recinto de la planta residual cuenta con alumbrado externo y de emergencia.

4.6.- Instalación de saneamiento

La instalación de saneamiento de las nuevas ejecuciones radica principalmente en la recogida de aguas pluviales que se dirigen a una arqueta general mediante canalizaciones.

No se incluye su desarrollo ni su presupuesto en el presente proyecto debido a que, si es necesaria su modificación respecto al estado actual de la red de saneamiento, se ejecutará mediante una subcontratación, con preferencia a la empresa que desarrolló la instalación de saneamiento de la planta original.

5.- Urbanización

La urbanización de la ejecución de este proyecto no genera cambios en el territorio, debido a que las instalaciones se implantarán en un área ya registrada como recinto de la EDAR, el cual ocupada 3ha, y se utilizarán, dentro de este, 1300m³ que están disponibles para su uso sin obstrucciones.

6.- Estudio de seguridad y salud

En el Anejo 11 se redacta un Estudio de Seguridad y Salud aplicable a la ejecución dl presente proyecto, identificando los riesgos de implantación y las normas básicas de seguridad y protección colectivas e individuales; de manera que se dé cumplimiento a lo establecido en el Real Decreto 1627/1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad laboral.

7.- Planificación de la implantación

Mediante el Diagrama de Gantt presente en la *Tabla 8* se planifica la obra en relación a la duración estimada para cada uno de los trabajos que se ejecutarán para implantar las nuevas instalaciones de modificación del tratamiento secundario de la EDAR de Lerma, Burgos.

El tiempo estimado de ejecución es de tres meses; siendo prorrogable, en caso de ser necesario, hasta un máximo de seis meses según lo estipulado en el Pliego de Condiciones del presente proyecto.

Tabla 8. Diagrama de Gantt

PLANIFICACIÓN TEMPORAL DE EJECUCIÓN DE LAS DIFERENTES FASES DE INSTALACIÓN													
ACTIVIDAD	PLANO (nº semanas)	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE			
		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Construcción reactor	5												
Instalación de equipos	8												
Instalación hidráulica	2												

8.- Presupuesto

1 FOTOBIORREACTOR		
1.1 REACTOR .		23.882,01
1.2 AIREADOR .		593,08
	Total 1 FOTOBIORREACTOR	24.475,09
2 CENTRÍFUGA .		4.425,66
3 EQUIPO DE ULTRASONIDOS .		1.122,36
4 FONTANERÍA		
4.1 TUBOS GALVANIZADOS CON SOLDADURA .		3,27
4.2 TUBOS PVC PRESIÓN ABASTECIMIENTO .		23,82
4.3 TUBOS PVC SERIE F (EVAC.PLUV.) .		19,27
4.4 PIEZAS ESPEC.PVC PRESIÓN ABASTE. .		3,18
4.5 VÁLVULAS DE ESFERA .		22,03
4.6 BOMA 1/2 CV .		164,72
	Total 4 FONTANERÍA	363,60
5 SEGURIDAD Y CONTROL .		694,48
Presupuesto de ejecución material		31.081,19
13% de gastos generales		4.040,55
6% de beneficio industrial		1.864,87
Suma		36.986,61
21% IVA		7.767,19
Presupuesto de ejecución por contrata		44.753,80

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de CUARENTA Y CUATRO MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y TRES EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS.

Soria, Julio de 2018
 Estudiante de Ingeniería Agraria y Energética
 Virginia Araguzo Carballera

9.- Evaluación económica

En el Anejo 12 se realiza una evaluación económica del proyecto. Teniendo en cuenta la inversión inicial y los gastos e ingresos tanto ordinarios como extraordinarios de cada año y fijando un período de vida útil del proyecto de 15 años, se calculan los flujos de caja y así conocer los índices de rentabilidad del presente proyecto.

Así, se obtiene una tasa interna de retorno (TIR) de 6,90% lo que significa que el proyecto es económica rentable por lo que se aconseja su realización. Además, se calcula un plazo de recuperación económica de 10 años.

**Documento II:
ANEJOS A LA
MEMORIA**

ÍNDICE DEL DOCUMENTO II: ANEJOS A LA MEMORIA

- Anejo 1. ESTADO DEL ARTE DEL CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS**
- Anejo 2. SITUACIÓN ACTUAL**
- Anejo 3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS**
- Anejo 4. DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR HRAP *RACEWAY***
- Anejo 5. COSECHA DE LA BIOMASA: DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN**
- Anejo 6. DIMENSIONAMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS MEDIANTE ULTRASONIDOS**
- Anejo 7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS DE LOS SOLVENTES**
- Anejo 8. TUBERÍAS Y BOMBAS**
- Anejo 9. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**
- Anejo 10. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA**
- Anejo 11. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**
- Anejo 12. EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Anejo 1:
ESTADO DEL ARTE DEL
CULTIVO DE MICROALGAS
CON FINES ENERGÉTICO

ÍNDICE DEL ANEJO 1: ESTADO DEL ARTE DEL CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS

1. Microalgas	A1.1
2. Usos y productos energéticos de las microalgas. El biodiésel	A1.1
2.1. El biodiésel	A1.2
3. Proceso de obtención de biodiésel a partir de microalgas	A1.3
3.1. Cultivo de microalgas	A1.3
3.1.1. Métodos de cultivo	A1.3
3.1.2. Fases de crecimiento	A1.4
3.1.3. Factores limitantes en el cultivo de microalgas	A1.5
3.2. Cosecha de la biomasa	A1.6
3.3. Extracción de lípidos	A1.6
3.4. Transesterificación	A1.6
3.5. Análisis del biodiésel	A1.8
4. Ventajas del cultivo de microalgas para la producción de biocombustibles	A1.9
5. Coproceso: eliminación de nitrógeno y fósforo con tecnología de microalgas	A1.10

1.- Microalgas

Las microalgas son organismos microscópicos unicelulares, fotosintéticos y eucariotas, que necesitan para su desarrollo CO₂, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y otros nutrientes menores como algunos metales. Producen una biomasa constituida básicamente por 20-30% de lípidos, 40-50% de proteínas y el resto son carbohidratos, que en algunas especies pueden llegar hasta el 55%. Están presentes principalmente en todos los cuerpos de agua, aunque se pueden encontrar también en ambientes terrestres, y están adaptadas a una gran cantidad de biosferas. Tienen una adaptación ecofisiológica y una plasticidad bioquímica muy altas, por lo que son capaces de convertir la energía solar en compuestos químicos a una velocidad mayor que cualquier otra fuente vegetal y bajo una alta variedad de condiciones medioambientales. Son organismos reguladores del contenido de oxígeno y dióxido de carbono de la atmósfera, de manera que colaboran en el control del efecto invernadero, las lluvias ácidas y el adelgazamiento de la capa de ozono. Las microalgas presentan una gran diversidad taxonómica.

Crecen de manera espontánea en ambientes acuáticos y húmedos; sin embargo, para la producción de biocombustibles en masa, se lleva a cabo su cultivo controlado. Por un lado, de esta manera, es posible asegurarse de obtener la variedad de microalga adecuada en función de la utilidad que se le quiera dar; se estima que existen más de 300.000 especies de algas, pero pocas de ellas poseen las características necesarias para que sea viable la producción de biocombustible con ellas. Por otro lado, el cultivo asegura la producción del volumen de microalgas necesario, de manera que se puede controlar tanto la extensión como el rendimiento del cultivo. Además, si se optimizan las necesidades vitales de las microalgas es posible obtener una reproducción mucho más rápida que de manera natural.

2.- Usos y productos energéticos de las microalgas. El biodiésel

Debido al elevado precio del petróleo, a factores medioambientales y a la necesidad de independencia energética, la búsqueda de nuevas fuentes alternativas de energía es uno de los grandes puntos de avance económico-social por todo el mundo. Dentro de las diversas alternativas, una de las más prometedoras es el cultivo de microalgas para usos bioenergéticos, siendo este el motivo principal del gran aumento del cultivo de algas.

Principalmente, se estudia y ensaya la obtención de biodiésel a partir de los lípidos producidos por las microalgas, aunque hay más usos posibles que aún deben avanzar tecnológicamente.

Entre estos productos energéticos se encuentra también el bioetanol; que, aunque algunas compañías bioenergéticas afirman que es posible obtener etanol de ciertas microalgas que lo producen de manera natural (cianobacterias), se obtiene principalmente por fermentación o por gasificación de los hidratos de carbono intracelulares.

Por otro lado, la biomasa microalgal, entendiendo como tal el volumen total de masa generado por las algas, se puede emplear para diversos fines energéticos y actualmente algunas empresas del sector están trabajando en centrales termoeléctricas que emplean como materia prima para la combustión la biomasa de las microalgas. Estudios ensayísticos prueban que el poder calorífico de un kilogramo de biomasa algal seca es similar al del carbón.

2.1.- Biodiésel

El biodiésel es un combustible líquido compuesto de alquil-ésteres obtenidos por reacción de alcoholes de cadena corta como el etanol y el metanol, con ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables, tales como los aceites vegetales o algunas grasas animales, y que se emplean en los motores de ignición por compresión (motores diésel) o en calderas de calefacción. Puede ser utilizado en motores convencionales sin cambios considerables, simplemente requieren el remplazo de las mangueras de conducción del combustible por elementos no fabricados sobre base de caucho o espuma de poliuretano en caso de que presenten estos materiales. Puede utilizarse puro, en cuyo caso se denomina B100, aunque con frecuencia es mezclado con combustible diésel fósil, denominándose BX siendo "X" el porcentaje de biodiésel empleado en la mezcla. Estos biocombustibles, al ser obtenidos normalmente a partir de biomasa vegetal, tienen una emisión de CO₂ nula si tenemos solo en cuenta su etapa de utilización, ya que el dióxido de carbono producido durante la combustión del mismo, ha sido fijado previamente durante la vida de la planta. Al biodiésel se le ha llamado "energía solar líquida" debido a que su contenido energético proviene de plantas que captan la energía solar en la fotosíntesis.

El biodiésel es uno de los productos energéticos más elaborados a partir de las microalgas debido a que estas son la mejor fuente de lípidos por su rápido crecimiento y elevado rendimiento. Estos lípidos son almacenados entre sus membranas por ciertas microalgas, especialmente las que son capaces de flotar ya que pueden captar mejor la luz solar. Los aceites microalgales utilizados para la producción de biodiésel sufren un proceso de transesterificación igual que el empleado con otros aceites vegetales más convencionales.

Un proceso ideal debería permitir una alta productividad de biomasa con el mayor contenido posible de lípidos en las células. Desafortunadamente, esta situación es muy difícil de obtener, dado que las células con alto contenido de lípidos se obtienen bajo condiciones de estrés fisiológico, el cual está asociado a condiciones limitantes de nutrientes lo que genera una baja productividad de biomasa. Así, los procesos de producción de biodiésel con microalgas luchan en su desarrollo biotecnológico por seleccionar las mejores cepas en términos de máximo contenido de lípidos y máxima productividad, establecer métodos de cultivo adecuados para lograr la máxima productividad tanto de lípidos como de biomasa, y producir todo ello con el menor coste posible. Para conseguir la disminución de los costes y obtención de un precio del biodiésel competitivo en el mercado, se deben reducir los costes de producción y cosecha de la biomasa, intentando obtener a su vez una serie de coproductos de alto valor añadido.

3.- Proceso de obtención de biodiésel a partir de microalgas

El proceso total de obtención de biodiésel a partir de microalgas es de gran complejidad. Empieza con la correcta elección de la cepa a cultivar, ya que según ella se obtendrá una productividad mayor o menor. A partir de ahí, se desarrollan diversas etapas que deben ser meticulosamente cuidadas a fin de obtener un biodiésel de calidad y con un precio de venta competente en el mercado.

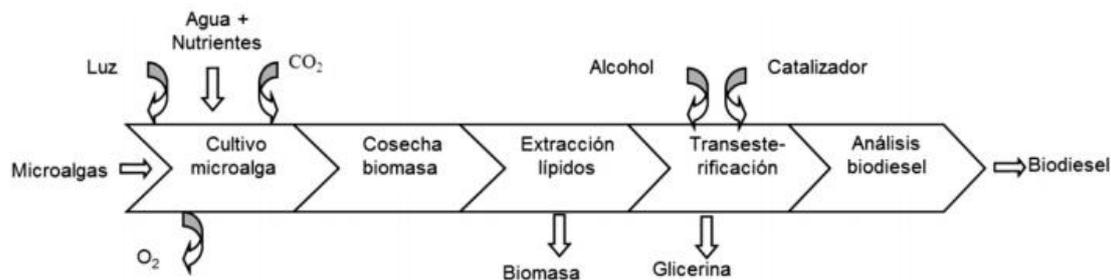


Figura A1.1. Etapas del proceso de obtención de biodiésel a partir de microalgas. [Fuente: Arias Peñaranda, M. T. 2012. Producción de Biodiésel a partir de microalgas: Parámetros del cultivo que afecta a la producción de Lípidos. Acta Biológica Colombiana, revista online]

3.1.- Cultivo de microalgas

Según los requerimientos y la exigencia de las microalgas en cuanto a la calidad de los elementos que deben ser suministrados y controlados al cultivo, pueden diferenciarse tres métodos. Es importante también conocer las distintas fases de crecimiento de las algas y los factores limitantes para su desarrollo.

3.1.1.- Métodos de cultivo

Método discontinuo, estático, por lote o batch:

Este tipo de cultivo se ejecuta en sistemas cerrados, añadiendo en un único momento al comienzo del proceso todo el sustrato del medio. La población se ajusta a una función logarítmica y va pasando por las diversas fases de crecimiento mientras se producen cambios fisiológicos con el paso del tiempo. Se produce una primera fase de aclimatación del cultivo y un posterior crecimiento exponencial hasta alcanzar el máximo de microorganismos que pueden ser sustentados por el medio, momento en el que la concentración del cultivo se mantendrá constante debido a factores limitantes como los nutrientes y se realizará la cosecha.

Método semicontinuo:

Este modo de operación implica varias cosechas sucesivas en periodos de tiempo determinados (final de la fase de crecimiento exponencial) y una adicción de medio de cultivo fresco después de cada una de las cosechas. Este cultivo puede alargarse hasta varias semanas si se tienen controladas las condiciones del cultivo con unos valores lo más próximos al óptimo posible, siendo posible cosechar hasta 3 veces por semana con un 90% del volumen del cultivo a alta concentración celular.

Método continuo:

En el cultivo continuo de microalgas, se añade un volumen de medio de cultivo al inicio del proceso y después, en las sucesivas cosechas, se adicionará un volumen de medio de cultivo nuevo que sea proporcional a la cantidad que se ha retirado, para así impedir que el sustrato de las microalgas sea limitante. De esta manera se mantienen constantes las condiciones de crecimiento de cultivo y las características químicas del medio en valores lo más próximos al óptimo posible durante largos periodos de tiempo. Por esta razón es de especial importancia determinar con antelación la concentración óptima de los nutrientes por unidad de tiempo en relación a la tasa de cosecha del cultivo. La población de microalgas pasará por las fases de crecimiento propias hasta estabilizarse en la fase exponencial – lineal durante todo el tiempo en el que el sistema esté operando de manera continua.

3.1.2.- Fases de crecimiento

Encontrar el tiempo ideal de cultivo y cosecha de las microalgas es uno de los aspectos más importantes a conocer con el fin de reducir los costes en todos los aspectos del cultivo. Un cultivo típico pasará por cuatro fases definidas por el número de células presentes en un tiempo determinado y por las condiciones generales del cultivo, pudiendo existir una fase previa de latencia.

Fase de adaptación o inicial:

Durante esta fase tanto el incremento celular como la densidad celular son muy bajos, debido a que es una fase en la cual las células se adaptan al nuevo medio. Esta adaptación se produce porque algunas enzimas metabólicas pueden estar inactivas y la falta de concentración de algunos materiales hace que se vea afectada la división celular, por lo que antes de reanudar su crecimiento, las microalgas precisan de un periodo de tiempo en el cual se aclimaten al medio acuático que las sostiene y alcancen niveles mínimos de concentración de ciertos compuestos. Esta fase puede durar entre 1 y 3 días, dependiendo básicamente del tamaño y del estado del inóculo de la cepa, y se caracteriza por un color amarillento tenue del medio.

Fase exponencial o de desarrollo logarítmico:

En este periodo las microalgas están asimilando los nutrientes disponibles en el medio y llevando a cabo procesos metabólicos, activando también su proceso de reproducción asexual con una alta eficiencia, de manera que la división celular incrementa en función del tiempo, siguiendo una función logarítmica: el desarrollo es sumamente rápido en un periodo de tiempo muy corto. Este crecimiento logarítmico termina en la llamada fase de declinación de la fase exponencial, momento caracterizado porque la división celular se vuelve más lenta debido a los nutrientes ya han sido consumidos en su mayor parte y su carencia es el factor limitante del crecimiento. Es entonces cuando se alcanza la edad máxima del cultivo.

Fase estacionaria:

En esta fase, el factor limitante sigue siendo la carencia de nutrientes, pero está equilibrado con la baja velocidad de crecimiento por lo que la densidad celular se mantiene prácticamente constante, presentando un desarrollo pausado en el cual el número de nacimientos de microorganismos es igual al de muertes.

Se considera este momento como el punto de grado máximo de población presente en el medio. Esta situación puede alargarse un periodo de tiempo relativamente prolongado, excepto en métodos de cultivo en los cuales ni los nutrientes ni el medio fresco son repuestos.

Fase de declinación o muerte:

En esta fase, la carencia de nutrientes ya es letal y las células sufren una limitación completa, de manera que la densidad celular comienza a caer rápidamente debido al gran número de muertes. Esto implica la liberación al medio de azúcares, proteínas y lípidos que en algunos casos (y dependiente del medio en el que se cultive) serán aprovechados por bacterias, colapsando así rápidamente la escasa población microalgal que se mantenía viva.

3.1.3.- Factores limitantes en el cultivo de microalgas

Para que un cultivo microalgal crezca de manera correcta, el medio de cultivo en el cual se desarrolla deberá contener todos los nutrientes necesarios en una forma disponible y los factores ambientales deben ser adecuados. Estos factores ambientales, como la luz, la temperatura, el estado de los nutrientes y la salinidad, afectan al mismo tiempo a la fotosíntesis realizada por los microorganismos y por tanto a su productividad celular, y a las actividades metabólicas celulares lo cual repercute en la composición celular. Para estudiar los factores limitantes en un cultivo de microalgas, se realiza un cultivo discontinuo, de manera que los microorganismos crezcan en el medio a partir de una limitada cantidad de nutrientes, hasta que un nutriente esencial se agote, o que se acumulen productos tóxicos, lo que causaría la inhibición del crecimiento. Por otra parte, debido a que las microalgas son organismos fotosintéticos, los factores que afectan a este proceso afectarán de igual modo ya sea por factor limitante de uno o uso excesivo de otro.

Las microalgas, necesitan de periodos de luz y oscuridad para una productividad óptima, de manera que es más importante el tiempo de exposición a la luz que su intensidad. Sin embargo, se ha demostrado que una exposición continua de las microalgas a la luz, puede llegar a tener un efecto inhibitorio en su capacidad fotosintética. Es por ello que en los cultivos, frecuentemente, se utilizan periodos de luz y oscuridad lo más similares posibles a las condiciones naturales, con fin de obtener una sincronización en la división celular, repercutiendo esto en los ritmos bioquímicos y la producción de nutrientes.

Junto con la luz, la temperatura es otro de los grandes factores ambientales más importantes para el desarrollo de las microalgas. Su efecto repercute en dos mecanismos principales: la tasa de dependencia de la temperatura de las reacciones bioquímicas, y la dependencia de la temperatura para la fijación fotosintética de carbono en varias macromoléculas (proteínas, hidratos de carbono y lípidos). Debido a su naturaleza como microorganismos del fitoplancton, su rango de desarrollo óptimo se encuentra a una temperatura entre 18 y 25°C, aunque algunas especies pueden crecer en temperaturas muy alejadas de estas.

El pH es otro de los factores del medio importantes para el cultivo microalgal, debido a que las membranas plasmáticas son impermeables a los iones hidrógeno e hidroxilo por lo que existe a través de la membrana un gradiente de concentración de hidrogeniones intracelulares y extracelulares. Por ello, las microalgas presentan una clara dependencia al pH del medio, con un valor óptimo entre 7 y 8. Un descenso del pH puede ser letal para el cultivo, aunque pueden soportar mejor, hasta cierto límite, los incrementos de pH.

El último factor del medio que puede ser limitante para un buen desarrollo del cultivo, es la salinidad o presencia de sales inorgánicas en el medio. La salinidad puede afectar en el crecimiento celular bien por su composición elemental o bien por la presión osmótica ejercida por estas sales. A pesar de esto, algunas microalgas son capaces de equilibrarse con su medio externo ajustando su concentración de solutos y adaptándose así a la presión osmótica del medio.

3.2.- Cosecha de la biomasa

La cosecha de un cultivo microalgal consta de la separación de la biomasa del medio en el cual ha crecido (mayormente agua), obteniéndose generalmente una pasta de microalgas con cierto contenido en humedad. En la actualidad, numerosas investigaciones se orientan hacia la búsqueda de un método de cosecha de la biomasa que sea fácil y, sobretodo, rentable. Esto se debe a que esta etapa presenta el mayor gasto económico del proceso total, pudiendo suponer hasta un 35% del coste, ya que las tecnologías utilizadas deben ser muy complejas por dos razones: (i) el tamaño de las microalgas es muy pequeño (3 – 30 μm) de manera que su captura resulta difícil y (ii) la densidad celular de los cultivos es muy baja (< 0,5 kg/m^3 de masa seca).

3.3.- Extracción de lípidos

Una vez cosechado el cultivo, se deben extraer los lípidos presentes en las células microalgales. Estos son compuestos intracelulares, de manera que su obtención se realiza mediante métodos que rompen o diluyen las paredes celulares, dejando que fluyan los lípidos hacia el exterior de las células. Esta extracción se lleva a cabo de manera física o química, pero con especial cuidado de no producir daños celulares irreparables o que puedan repercutir en el estado de los lípidos. Actualmente, también se han desarrollado y llevado a la práctica algunos pretratamientos opcionales que están orientados a alcanzar un mayor rendimiento del aceite.

3.4.- Transesterificación

Como ya se ha expuesto, el biodiésel es una mezcla de ésteres alquílicos de ácidos grasos obtenidos por transesterificación de aceites de microalgas en este caso, una reacción química de intercambio de ésteres. Esta materia prima, está compuesta por un 90-95% de triglicéridos, pequeñas cantidades de mono y diglicéridos y otras cantidades residuales de elementos como fosfolípidos, fosfátidos, etc.

La transesterificación es una reacción química que ocurre en varios pasos, tres de ellos son etapas reversibles en serie, en las cuales los triglicéridos se convierten en diglicéridos, a continuación, estos diglicéridos se convierten en monoglicéridos y estos en ésteres (biodiésel), obteniendo glicerina como co-producto de alto valor. En la *Figura A1.2.* se muestra el proceso complejo y las tres fases descritas, quedando en la *Figura A1.3.* la reacción simplificada. Para esta reacción, se usan como reactivos aceites y un alcohol de cadena corta, en presencia de un catalizador, que generalmente se trata de catalizadores alcalinos homogéneos como NaOH o KOH, en un reactor agitado. Aunque la relación molar teórica alcohol:aceite es de 3:1, se utiliza más usualmente una relación 6:1 para completar la reacción con mayor extensión. La relación entre materia prima de entrada y la producción de biodiésel, es alrededor de 1:1; es decir, en teoría, con un kilogramo de aceite microalgal podemos obtener un kilogramo de biodiésel.

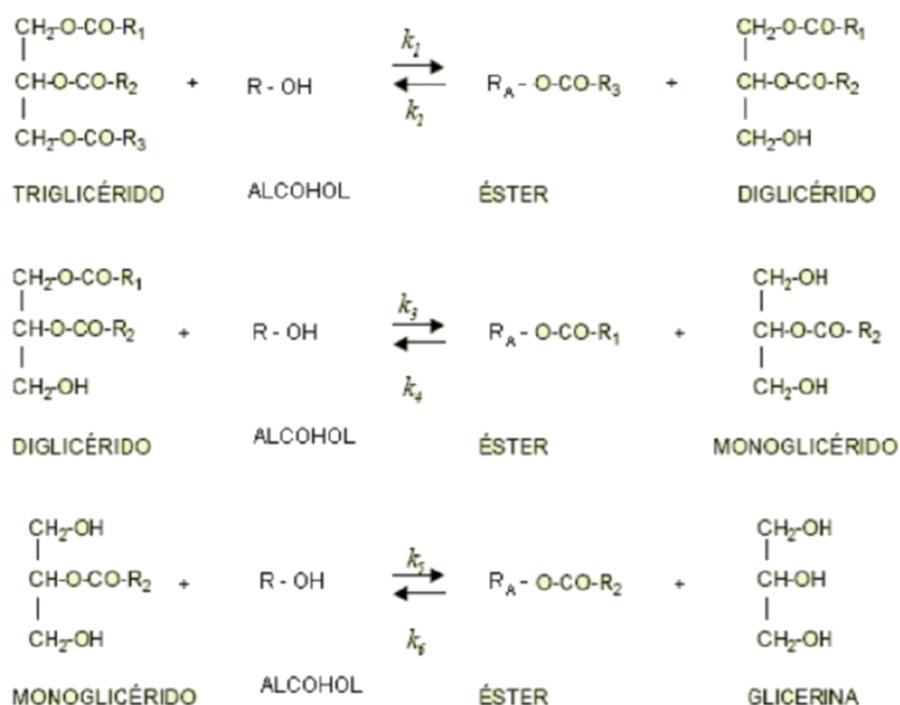


Figura A1.2. Reacción completa de transesterificación [Fuente: Apuntes de la asignatura "Química orgánica", Universidad de Huelva (autor desconocido)]

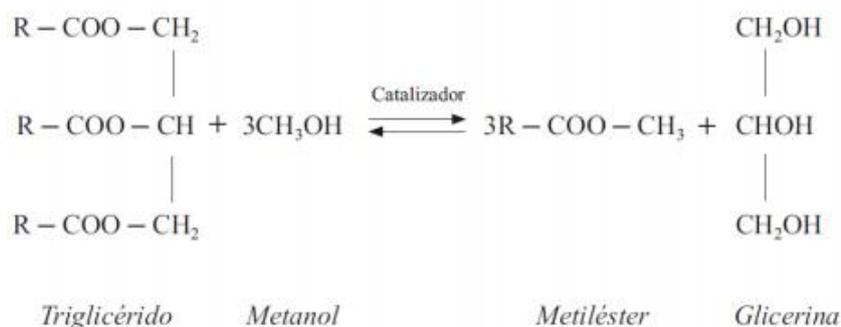


Figura A1.3. Reacción simplificada de transesterificación. [Fuente: Apuntes de la asignatura "Química orgánica", Universidad de Huelva (autor desconocido)]

3.5.- Análisis del biodiésel

Una vez obtenido el producto final, biodiésel, debe ser analizado para verificar sus características en base a unos requisitos de calidad que en la Unión Europea están regulados según la UNE EN 14214 (2003) que "especifica los requisitos y los métodos de ensayo de los ésteres de metilo de ácidos grasos comercializados y suministrados para su empleo bien como combustible de automoción en motores diésel en una concentración del 100%, bien como diluyente para dicho combustible de acuerdo a los requisitos de la norma EN590" resumidos en la *Figura A1.4.*

Esta norma técnica marca las especificaciones del biodiésel tanto a nivel de producto, de proceso y de comportamiento, además de indicar los métodos de ensayo y análisis para cada uno de los parámetros. Así, como producto, delimita su punto de fluidez, su densidad y su índice de yodo. Respecto al proceso, determina el contenido metiléster, el contenido de metanol y la contaminación total permitida. Y como comportamiento del producto, establece los valores de poder calorífico, lubricidad y número de cetano permitido para su uso.

EN 14214

ENSAYO	UNIDADES	LÍMITES		NORMA DE ENSAYO
		Mínimo	Máximo	
Contenido en ester	% (m/m)	96,5		prEN 14103
Densidad a 15°C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120		ISO 3679
Contenido en azufre	mg/kg		10,0	prEN20846
Residuo carbonoso	% (m/m)		0,30	EN ISO 10370
Número de Cetano		51,0		EN ISO 5165
Contenido en cenizas de sulfatos	% (m/m)		0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg		500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg		24	EN 12662
Corrosión en lámina de cobre	Clasificación	Clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad a la Oxidación	horas	6,0		prEN 14112
Valor ácido	mg KOH/g muestra		0,50	prEN 14104
Índice de yodo	g I/100g muestra		120	prEN 14111
Metiléster linoléico	% (m/m)		12,0	prEN 14103
Metiléster poliinsaturados	% (m/m)		1	
Contenido en metanol	% (m/m)		0,20	prEN 14110
Contenido en monoglicéridos	% (m/m)		0,80	prEN 14105
Contenido en diglicéridos	% (m/m)		0,20	prEN 14105
Contenido en triglicéridos	% (m/m)		0,20	prEN 14105
Glicerina libre	% (m/m)		0,02	prEN 14105
Glicerina total	% (m/m)		0,25	prEN 14105
Metales grupo I (Na+K)	mg/kg		5,0	prEN 14108/14109
Metales grupo II (Ca+Mg)	mg/kg		5,0	prEN 14538
Contenido en fósforo	mg/kg		10,0	prEN 14107
PCOF	°C	Según época y país		EN 116

Figura A1.4. Norma UNE EN 14214 para el análisis del biodiésel. [Fuente: Rakel Herrero para Fundación Cetena, CEMITEC (Centro Multidisciplinar de Innovación y Tecnología de Navarra)]

4.- Ventajas del cultivo de microalgas para la producción de biocombustibles

En las últimas décadas, la obtención de biocombustibles ha tenido un gran auge tanto a nivel ensayístico como de mercado. Desde un principio, los cultivos energéticos tradicionales han presentado grandes puntos negativos que se han visto resueltos mediante el actual uso de cultivos microalgas. Se exponen a continuación las grandes ventajas que presenta el uso y cultivo de microalgas con fines energéticos frente a otros grandes productos agrícolas empleados para el mismo fin.

- El nivel de productividad es mucho mayor que empleando cualquier otro tipo de materia prima. Esto se debe a que las microalgas son microorganismos que, bajo condiciones adecuadas, son capaces de desarrollarse a gran velocidad completando su ciclo de vida en un tiempo mucho menor que el de cultivos tradicionales. Así, la productividad de biocombustibles a partir de microalgas frente a los producidos por el maíz, la soja o la caña de azúcar, es entre 20 y 80 veces superior. Además, las microalgas son el grupo fotosintético que presenta mayor eficiencia, llegando hasta un 4-8% frente al 2% alcanzado por la mayoría de las plantas superiores, de manera que pueden producir hasta cantidades tan altas como 60-80 t/ha · año de peso seco. Esto se debe principalmente a que crecen en suspensión, teniendo acceso ilimitado al agua, acceso más eficiente al CO₂ y a los nutrientes, pudiendo convertir de manera más eficiente la energía solar.
- No se emite CO₂ de más a la atmósfera. Las microalgas necesitan CO₂ para su desarrollo que lo obtienen capturándolo a la atmósfera. Después, en el momento que los biocombustibles sufren la combustión, ese CO₂ liberado es el que tomó anteriormente. Por lo tanto, expulsa tanto dióxido de carbono como el que el alga utilizó en su desarrollo, de manera que el balance final de emisiones a la atmósfera resulta en cero. Algunos proyectos actuales, pretenden emplear las emisiones de CO₂ de las centrales termoeléctricas para insuflarlas en los cultivos, de manera que se aumente su producción. Otra de las grandes ventajas relacionada con el mantenimiento y no contaminación del medioambiente, es que para su cultivo no se necesitan pesticidas ni herbicidas que deben usarse con vegetales terrestres para alejar plagas.
- La producción de biocombustibles a partir de microalgas no afecta en absoluto al mercado de alimentos, al contrario que los obtenidos a partir de cereales, que destinan gran parte de sus cultivos a usos energéticos provocando que estos escaseen en el mercado alimentario y que sus precios incrementen, lo cual presenta un gran problema para la industria alimenticia y también a la sociedad. Por lo tanto, si se emplean los cultivos de microalgas para la obtención de combustibles, los cereales podrán emplearse de nuevo exclusivamente para fines alimentarios y no afectará a este mercado.

- Además, estos cultivos pueden desarrollarse durante todo el año presentando cosechas continuas, a diferencia de los grandes cultivos energéticos tradicionales. Asimismo, su biomasa entera puede resultar útil y provechosa, a diferencia que la de plantas superiores en las que los productos de interés se encuentran en sitios u órganos específicos.
- Para el cultivo de microalgas no se destruyen bosques ni selvas. La utilización de cultivos tradicionales para la obtención de biocombustibles y su gran demanda, ha provocado y sigue provocando la destrucción de amplias zonas selváticas y forestales con la finalidad de ampliar la superficie cultivable, lo cual repercute de una manera muy negativa en nuestros ecosistemas. Sin embargo, el cultivo de microalgas se puede realizar en estanques, los cuales pueden incluso estar ubicados en zonas desérticas o terrenos que no pueden ser aprovechados para el cultivo de otros vegetales. Pueden crecer en tierras marginales de zonas áridas o desérticas, en terrenos que no pueden ser aprovechados para otros cultivos, en ambientes salinos e incluso hipersalinos de baja calidad, o en aguas residuales cargadas de nutrientes. Por otro lado, su cultivo tiene un consumo de agua mucho menor que el requerido en los grandes cultivo agrícolas, e incluso el agua utilizada puede ser usada de nuevo para la irrigación, resultando aún más ventajoso el cultivo de microalgas.

5.- Coproceso: eliminación de nitrógeno y fósforo con tecnología de microalgas.

Además de los usos energéticos de las microalgas, existen otros usos interesantes principalmente en el ámbito del tratamiento de aguas residuales. Debido a la complejidad de los procesos biológicos, tanto anaerobios como aerobios, para la eliminación de nitrógeno y fósforo de aguas residuales, y a su baja eficiencia en comparación, se han desarrollado tecnologías basadas en el crecimiento de microorganismos microalgales que aumentan su biomasa mediante la asimilación de materia orgánica y nutrientes presentes en el agua.

La utilización de microalgas para el tratamiento y depuración de aguas residuales comenzó en los años 50 de manera mínima. Durante los años 70, en Estados Unidos se emplearon estanques de cultivo de microalgas para este fin, aunque debido al auge de otros sistemas, la extensión de este método se frenó gravemente. Actualmente, las algas se utilizan para el tratamiento de aguas residuales a lo largo de todo el mundo pero generalmente a pequeña escala, existiendo pocas plantas piloto de carácter comercial. El motivo por el cual este proceso ha sido objeto de muchos estudios y ensayos con vistas a ser una realidad, es la alta capacidad que poseen las microalgas para remover grandes cantidades de nitrógeno, fósforo y DQO, además de absorber ciertos metales pesados. Por ello, se emplean principalmente para eliminar nutrientes en efluentes de residuos ganaderos y de acuicultura, o para eliminar metales pesados de aguas residuales industriales.

El proceso de nitrificación-desnitrificación es el más desarrollado, se lleva a cabo en reactores HRAP: *High Rate Algal Pond* y se basa en la utilización de microalgas en consorcio con determinados grupos de bacterias promotoras del crecimiento para el tratamiento de aguas residuales.

Estos microorganismos se encargan de utilizar los nutrientes presentes en el medio y transformarlos en otros compuestos celulares, aumentando así su biomasa y reduciendo la concentración de materia en el agua. De manera simplificada, se llevan a cabo los siguientes procesos durante el proceso de biofitorremediación de las aguas:

1. Nitrificación del amonio disuelto y transformación en ion nitrato.
2. Eliminación de la materia orgánica durante el metabolismo heterótrofo de las bacterias y transformación en CO_2 .
3. Eliminación del CO_2 durante la fotosíntesis realizada por las microalgas.
4. Asimilación de la materia orgánica y los nutrientes (P, K) en forma de biomasa algal y bacteriana.

Es decir, las bacterias utilizan el oxígeno para consumir la materia orgánica produciendo CO_2 que será fijado por las microalgas, que lo emplearán más tarde como fuente de Carbono para el proceso de la fotosíntesis, generando biomasa y expulsando oxígeno. Como se muestra en la Figura A1.5, se cierra el ciclo dentro de las aguas residuales, a la vez que se utiliza el dióxido de carbono que pudiera ser expulsado a la atmósfera incrementando el efecto invernadero; disminuyendo así la huella de CO_2 . La principal ventaja resultante de esta sinergia entre bacterias y microalgas es que se evita la necesidad de un sistema de inyección de oxígeno o de aireación mecánica, por lo que el coste total de instalación y operación es mucho menor y se disminuyen los riesgos de emisión de compuestos volátiles en forma de aerosoles.

Por su parte, el proceso de eliminación del fósforo por parte de las microalgas es mucho más sencillo, ya que estas son capaces de asimilar ciertos compuestos y emplearlos de manera más fácil y directa, sin necesidad de la intervención de otros microorganismos ni reacciones intermedias, principalmente como material estructural de sus células o como reserva energética de polifosfatos.

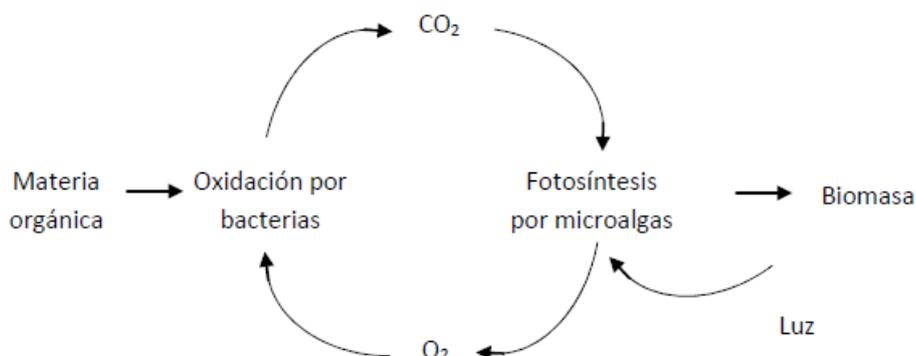


Figura A1.5. Esquema del ciclo del oxígeno de un cultivo mixto con bacterias y microalgas.
 [Fuente: Burgoa Francisco, F. 2015. Trabajo Fin de Grado: Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con fotobiorreactor de microalgas. Universidad de Valladolid.]

Sin embargo, para que ambos procesos se desarrollen de manera correcta, los parámetros de funcionamiento del reactor deben ser controlados minuciosamente; puesto que la actividad de las microalgas puede aumentar el pH, la temperatura o el oxígeno disuelto, de manera que la actividad de las bacterias se vería afectada. Además, se necesitan especies de microalgas que soporten las condiciones del medio y los posibles contaminantes generando además una gran productividad de biomasa. Otro gran inconveniente es la dificultad de la cosecha del cultivo, es decir, la separación final de la biomasa y del agua depurada, y su gran coste. Este coste, a día de hoy, puede ser reducido si se fijan las algas en matrices sintéticas o naturales, de manera que se inmovilizan, y se pueden alcanzar porcentajes de eliminación de nutrientes y tóxicos satisfactorios.

El beneficio más interesante de todo este proceso es la obtención de un producto de alto valor añadido: la biomasa algal. Esta biomasa, una vez separada y cosechada, podrá emplearse para múltiples fines, tanto para productos químicos o alimenticios, como para usos energéticos. Es decir, suponiendo que se quiera realizar un cultivo microalgal para fines energéticos, un modo de disminuir el coste del desarrollo del cultivo y, a su vez, lograr un precio del producto final que sea competitivo en el mercado, es realizar como coproceso el tratamiento de aguas residuales. Así, el cultivo, se llevará a cabo en efluentes contaminados que servirán como medio y aportará los nutrientes necesarios requeridos para el desarrollo de las microalgas, esta agua será depurada pudiendo volver a ser utilizada, y se obtendrá, finalmente, la biomasa buscada para su fin energético principal. Convirtiendo de esta manera en energía la materia orgánica presente en el agua y disminuyendo la cantidad de fango generado.

Este proceso total descrito anteriormente es el que se busca como nuevo método de depuración de las aguas residuales mediante la modificación de la planta actual por lo que se desarrollan los diseños necesarios para que pueda tener lugar este fenómeno de manera productiva y controlada y con un uso final de la biomasa para la extracción de sus lípidos que serán materia prima en la industrial del biodiésel.

Anejo 2:

SITUACIÓN ACTUAL

ÍNDICE DEL ANEJO 2: SITUACIÓN ACTUAL

1. Introducción	A2.1
2. Elementos de la actual EDAR de Lerma (Burgos)	A2.1
3. Tratamiento primario	A2.3
4. Tratamiento secundario	A2.3
5. Tratamiento terciario	A2.4

1.- Introducción

En este anejo se realizará una breve descripción de la situación actual de la EDAR situada en la localidad de Lerma, Burgos; incluyendo los procesos que se llevan a cabo y los equipos que a grandes rasgos se ven involucrados. La necesidad de este apartado recae en que el presente proyecto se desarrolla con el objetivo claro de diseñar y realizar una modificación en la planta de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, estos cambios no se realizarán en la totalidad de la planta sino que sólo ciertos equipos y sistemas serán sustituidos de manera que se cree una mejora del proceso de depuración instalando los equipos necesarios para poder implantar un cultivo de microalgas cuyo medio sea el efluente y que éste a su vez sea clarificado. Es por ello que debe ponerse en situación la modificación, conociendo previamente el estado del cual se parte y qué se desea sustituir.

Como se indica en la memoria, esta planta recibe un caudal total de 54,8 m³/día de agua residual y, como en la mayoría de las plantas de tratamiento análogas, se realiza una depuración constituida por una línea de proceso que cuenta con tres tratamientos: el primero de ellos para la eliminación de la materia particulada, el segundo para eliminar materia orgánica y nutrientes y el tercero para la eliminación de nitrógeno y fósforo. El agua tratada, se utiliza a la salida de la planta como agua de riego y además se generan grandes cantidades de fango en las dos primeras fases que es utilizado como compost con el fin de aprovechar los nutrientes (especialmente nitrógeno y fósforo).

2.- Elementos de la actual EDAR de Lerma (Burgos)

En el diagrama de bloques presentado en la *Figura A2.1*, se puede observar el esquema de la planta actual con cada uno de los equipos implicados en el proceso de depuración que, como se ha expuesto, consta de tres partes o tratamientos claramente diferenciados (descritos más adelante).

En el esquema se pueden ver, señalizados en color rojo, los procesos correspondientes al tratamiento secundario y que son el objeto principal de nuestro proyecto pues son lo que serán eliminados y sustituidos. En su lugar, se efectuará un diseño de un fotobiorreactor que permita desarrollar en un único paso el tratamiento secundario en presencia conjunta de microalgas y bacterias.

Como se puede observar en la figura, los tratamientos primario y terciario se mantendrán sin cambios, de manera que el proyecto debe ser propuesto de tal manera que sea conforme con los equipamientos ya instalados.

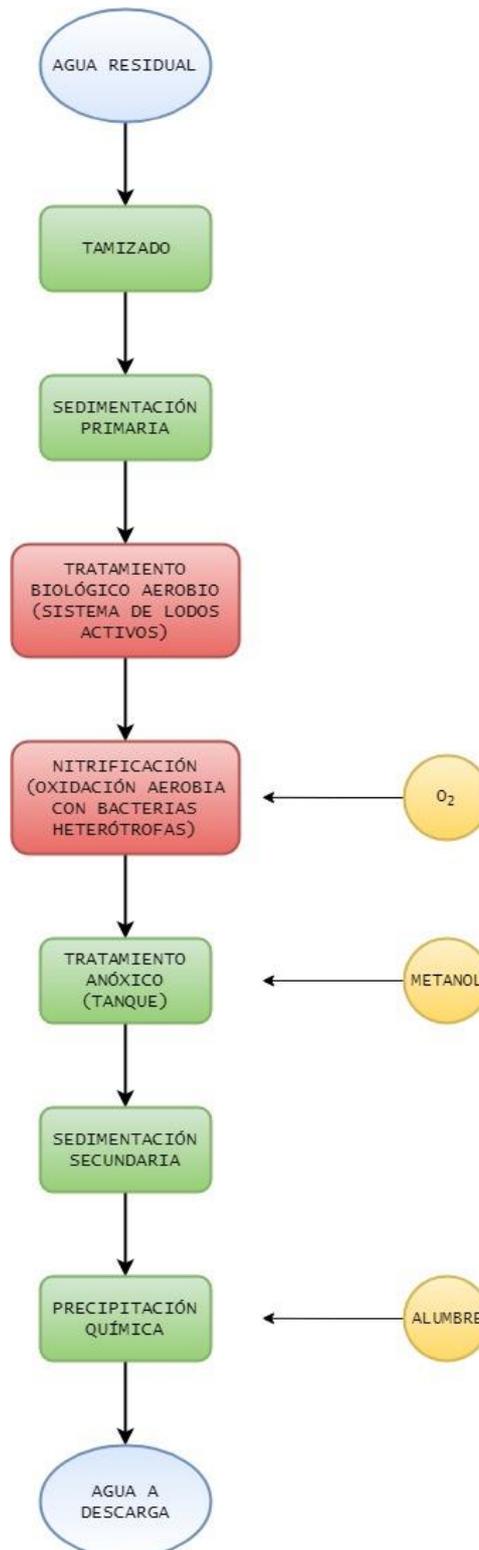


Figura A2.1. Diagrama de bloques de la situación actual [Fuente: elaboración propia]

2.- Tratamiento primario

El tratamiento primario es la etapa en la cual se realizan las operaciones de separación de grandes fases sólidas y líquidas, de manera que el contenido de sólidos suspendidos presentes disminuya. Este proceso se desarrolla en dos fases en la planta debido a que su facilidad de operación y bajo mantenimiento hacen que sean procesos sencillos con buenos resultados.

La primera de las fases consiste en un *screening* con un tamiz, un dispositivo con una serie de aperturas de tamaño uniforme que se utiliza para separar los sólidos suspendidos presentes en la corriente de agua residual para evitar daños mayores a equipos posteriores en la cadena y poder aumentar de manera significativa la eficacia global de la eliminación. El tamiz instalado es de tipo rotatorio puesto que su mantenimiento es mucho más sencillo y es más adecuado para caudales bajos como el de la planta. A continuación, se produce una sedimentación de los sólidos suspendidos en el agua residual, una separación que ocurre por gravedad debido a que los sólidos tienen una mayor densidad que el agua. En este proceso se alcanza una eficiencia de separación media del 60% de sólidos suspendidos totales.

3.- Tratamiento secundario o biológico

La etapa correspondiente al tratamiento secundario del agua residual se corresponde con un proceso biológico de depuración. Actualmente este tratamiento se desarrolla por un proceso aerobio que combina también pequeñas etapas anaerobias y anóxicas. Es adecuado para la relación Carbono:Nitrógeno presente en el agua, además de pequeños sistemas de separación sólido-líquido, eliminando de manera eficaz materia orgánica y nutrientes del efluente. La alternativa aerobia que se lleva a cabo previamente a la modificación, es la utilización de un sistema tradicional de oxidación por parte de bacterias heterótrofas, llamado sistema de lodos activos. Este proceso precisa de una aportación de oxígeno para el metabolismo de estas bacterias que se lleva a cabo mediante un sistema mecánico de aireación.

Este es el objeto principal del proyecto modificación de la EDAR. Se pretende realizar un diseño de proceso y equipos que sustituyan la alternativa actual del tratamiento secundario. Se buscará mantener un proceso aerobio pero mediante la utilización de un reactor HRAP *raceway* que podrá sostener un cultivo combinado de microalgas y bacterias que permita el tratamiento del agua residual. Mediante esta sustitución, se obtienen los siguientes beneficios.

1. Las microalgas a través de su metabolismo aportarán al medio el oxígeno necesario para el metabolismo de las segundas, por lo cual no será necesaria una aireación o inyección de este gas. Además, de manera inversa, las bacterias producirán el CO₂ necesario para los procesos metabólicos de las microalgas.
2. Al evitarse la aireación también se minimizan las posibilidades de emisiones de compuestos volátiles a la atmósfera, haciendo de éste un proceso más respetable con el medio ambiente.

3. La asimilación de nutrientes aumentará entre 2-3 veces respecto al proceso de lodos activos actual debido al alto crecimiento algal y sus altas capacidades de eliminación de nutrientes y metales pesados.
4. La biomasa microalgal creada será utilizada para la obtención de lípidos con fines bioenergéticos, de manera que se conseguirán productos con un alto valor añadido.

4.- Tratamiento terciario

El tratamiento terciario es el proceso final de depuración de las aguas residuales y el más minucioso ya que el agua que abandona este punto debe cumplir con la normativa establecida por la legislación según su posterior uso. En esta fase, se produce la eliminación de los contenidos de nitrato y fósforo que hayan podido resistir a los tratamientos biológicos anteriores, mediante procesos mecánicos y/o químicos, de manera que su contenido sea el más ajustado a la normativa.

La eliminación de los nitratos se produce por biodegradación gracias la reacción que se produce entre estos y una materia orgánica externa – en forma de metanol principalmente – que se aporta a un tanque anóxico donde tiene lugar el fenómeno. A continuación, y para reducir el contenido fósforo, se opera con un sedimentador secundario y una posterior precipitación química, utilizando como agente precipitante alumbre.

Anejo 3:

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

ÍNDICE DEL ANEJO 3: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

1. Especies de microalgas para cultivo.....	A3.1
1.1. Género <i>Chlorella</i>	A3.1
1.2. Género <i>Scenedesmus</i>	A3.1
1.3. Género <i>Nannochloropsis</i>	A3.2
2. Reactores para cultivo de microalgas	A3.2
2.1. Sistemas abiertos.....	A3.3
2.1.1. <i>Open ponds</i>	A3.3
2.1.1. <i>Raceways</i>	A3.4
2.2. Sistemas cerrados o fotobiorreactores	A3.6
2.2.1. Fotobiorreactores de columna.....	A3.6
2.2.2. Fotobiorreactores tubulares	A3.7
2.2.3. Fotobiorreactores de superficie plana o <i>flat plate</i>	A3.9
2.2.4. Fotobiorreactores de tanque agitado.....	A3.10
3. Obtención de los lípidos microalgales	A3.11
3.1. Cosecha de la biomasa	A3.11
2.2. Extracción de los lípidos	A3.12

1.- Especie de microalga para cultivo

La diversidad taxonómica de las microalgas es muy extensa, presentando cada uno de los géneros y especies diferentes unas capacidades y reacciones metabólicas propias, por lo que se hace necesaria la elección de una cepa que presente las características más apropiadas para la finalidad de su uso. En este proyecto, se pretende conseguir un cultivo microalgal capaz de eliminar el máximo de nutrientes y metales pesados de las aguas residuales a la vez que tenga una alta eficiencia en producción de lípidos. Se describirán y compararán, a continuación, las especies más utilizadas en este sector con tal de limitar las opciones disponibles a las más adecuadas.

1.1.- Género *Chlorella*

Las algas pertenecientes al género *Chlorella* son algas verdes unicelulares, de forma esférica, sin flagelo y de tamaño muy pequeño (2-10 μm de tamaño). Son algas especialmente conocidas por su eficiencia fotosintética, ya que precisan simplemente de dióxido de carbono, agua, luz solar y pequeñas cantidades de minerales para llevar a cabo este fenómeno. Esta capacidad fotosintética ayuda a su gran rapidez de multiplicación mediante reproducción asexual. Tiene, además, una alta producción de lípidos en todas sus especies, con un contenido en aceite que varía del 35 al 55% en peso seco. Por ello, es una gran candidata a la fitorremediación de aguas residuales y posterior utilización de su biomasa para la producción de biocombustibles.

Entre las especies más cultivadas y, por lo tanto estudiadas, se encuentra la *Chlorellavulgaris*. Esta especie habita principalmente en ríos, arroyos de agua dulce y suelos encharcados. Esto se debe a que su pared celular es casi irrompible, lo que le proporciona una gran resistencia a altas concentraciones de pesticidas, toxinas y metales pesados; siendo capaz además de desintoxicar estas masas de agua. Por otro lado, su producción de lípidos es bastante elevada, siendo posible obtener hasta un 42% de aceites de su peso en seco. La *Chlorellavulgaris* es actualmente una de las microalgas más cultivadas en todo el mundo, con tres fines principales: obtención de biocombustibles, tratamiento de aguas y complemento alimenticio.

1.2.- Género *Scenedesmus*

Las algas pertenecientes a este género, son algas verde unicelulares, de forma elíptica con un tamaño medio entre 12-14 μm de ancho por 15-20 μm de largo y alguna de las especies puede presentar espinas. Estas algas son inmóviles aunque son capaces de modificar su forma con el fin de adaptarse al medio y suelen formar grupos de cuatro u ocho células. Al igual que el género anterior, es un alga verde debido al gran número de cloroplastos que contiene, los cuales son los encargados de realizar la fotosíntesis. Esto implica que su actividad fotosintética es alta, lo cual capacita una alta reproducción asexual.

Entre las especies más cultivadas se encuentran la *Scenedesmusobliquus*, la cual es la más estudiada, y la *Scenedesmusrubescens*. Aunque son algas dulceacuícolas, también se encuentran en una amplia cantidad de suelos. Ambas tienen una productividad de lípidos ligeramente baja aunque su contenido en aceite es del 65-70% en peso seco.

Las algas de este género han sido principalmente cultivadas para la obtención de alimento animal, especialmente para acuicultura, aunque en los últimos años se ha estudiado su eficacia en la fitorremediación tanto de aguas residuales como de suelos contaminados así como el aprovechamiento de la biomasa producida.

1.3.- Género *Nannochloropsis*

El género *Nannochloropsis* alberga 6 especies conocidas de algas. Son algas salinas principalmente, aunque también se puede encontrar en aguas dulces y salobres. Son algas pequeñas, de 2-3 μm de diámetro, inmóviles y de forma esférica, siendo morfológicamente iguales todas las especies. Son microalgas que únicamente poseen Clorofila – a , lo cual las distingue de todos los demás géneros debido a su falta total de Clorofila – b y Clorofila – c.

Las algas de este género son altamente prometedoras para aplicaciones industriales debido a su capacidad para acumular altos niveles de ácidos grasos. Además, manipulaciones genéticas recientes han conseguido aumentar su producción en lípidos, alcanzando un contenido de aceite de hasta el 60% del peso seco. Sin embargo y en desventaja, esta especie algal tiene una tolerancia media-baja a ciertos contaminantes, lo que hace que su desarrollo en aguas residuales se vea limitado debido a la presencia de algunos elementos tóxicos habituales.

2.- Elección del reactor de cultivo de microalgas

Actualmente, se diferencia dos tipos de sistemas para el cultivo de microalgas: los sistemas abiertos o lagunas abiertas, o los sistemas cerrados o fotobiorreactores. La principal diferencia entre ambos tipos de sistemas es la posibilidad de controlar las características del medio como la temperatura, el pH, la salinidad e incluso la radiación lumínica; así como el contenido de materia orgánica necesaria. De esta manera, los sistemas abiertos poseen un control escaso de las condiciones del cultivo, mientras que el cultivo en los fotobiorreactores pueden controlarse todos los valores de manera que el cultivo se desarrolle en condiciones lo más próximas al óptimo. Esta posibilidad de control de operación influye, obviamente, en el coste y la facilidad de manejo; siendo más baratos y fáciles de manejar las lagunas abiertas, ya que poseen menos dispositivos de control y su diseño es mucho más sencillo y barato aunque para su establecimiento son necesarias grandes áreas de terreno y mayor obra.

Sin embargo, los sistemas cerrados o fotobiorreactores, son sistemas de elevado coste y complejidad, con un tamaño mucho menor que los anteriores para una productividad que puede ser más elevado, y su manera de operar es mucho más precisa pero implica un mayor conocimiento de método de utilización. Por estos motivos principalmente, el uso de fotobiorreactores a nivel comercial no es extenso, de manera que resulta más fácil y barato el uso de lagunas abiertas para grandes proyectos. En la *Tabla A3.1.* se resume y comparan los diversos tipos de reactores para debatir sobre la elección más adecuada para el proyecto.

Tabla A3.1. Comparación de ventajas e inconvenientes de sistemas abiertos y cerrados

	Sistemas abiertos	Sistemas cerrados
Tecnología asociada	Sencilla	Compleja
Coste de inversión y mantenimiento	Bajo	Alto
Coste de consumo energético	Bajo	Alto
Riesgo de contaminación	Muy alto	Muy bajo
Riesgo de estrés hidrodinámico	Bajo	Moderado
Control de parámetros del proceso	Difícil	Fácil
Eficiencia de la fotosíntesis	Moderada	Elevada
Capacidad de fijación del CO ₂	Moderada	Elevada
Productividad	Moderada	Elevada
Coste de recolección de la biomasa	Elevado	Bajo
Escalado	Fácil	Difícil
Optimización del proceso	Limitada	Posible

2.1.- Sistemas abiertos

Los sistemas abiertos o lagunas consisten, principalmente, en estanques de naturaleza artificial de diversas formas y con los elementos necesarios para conseguir unas condiciones de cultivo similares al que podría ser un hábitat natural mejorado. Es decir, que el cultivo está en contacto con la atmósfera. Con este tipo de reactores, se intenta conseguir a muy bajo coste una baja productividad, debida a que el control de las condiciones del medio, tales como la temperatura o el pH, es muy poco estricto o incluso inexistente. El riesgo fundamental de este tipo de sistemas, es que son susceptibles a una contaminación del medio tanto por elementos inorgánicos así como la invasión de otros microorganismos. Existen dos tipos básicos de reactores abiertos: los "open ponds" o tanques simples y los "raceway" basados en la circulación de canales.

2.1.1.- Open ponds

Este tipo de sistemas son los más sencillos de todos, consisten en balsas con la forma y la profundidad adecuada para el uso que se le quiera dar, *Figura A3.1*. Estos tanques se alimentan con los nutrientes adecuados y se deja que en ellos crezca de manera libre el cultivo realizado. Este modo de uso hace que el proceso sea muy económico, con unos costes de operación muy bajos; sin embargo, la productividad por unidad de superficie y la concentración de biomasa son también muy bajas, generando así un bajo aprovechamiento del área utilizada.



Figura A3.1. Lagunas abiertas o open ponds
[Fuente: La verdad, Diario digital de la región de Murcia]

Debido a que las condiciones del cultivo no son controladas y el medio puede presentarse con unas características muy poco concretas, este sistema se utiliza fundamentalmente para microalgas extremófilas, capaces de sobrevivir en condiciones extremas.

2.1.2.- Raceways

Este tipo de reactores son más sofisticados debido a que proveen agitación y mezcla al medio. Algunos de ellos también contienen elementos para suministrar CO₂ al cultivo de una forma relativamente eficiente y con pocas pérdidas, posibilitando un cierto control del pH; y al igual que los anteriores, poseen sistemas de alimentación de nutrientes. Dentro de esta modalidad de lagunas abiertas, el diseño y la forma pueden ser de dos tipos diferentes, cada uno de los cuales tiene su estrategia de mezcla.

Por un lado se encuentran los tanques circulares, construcciones circulares de hormigón, con diámetro variable, y un sistema de agitación formado por una pala que recorre toda la superficie girando sobre un eje de rotación situado en el centro del tanque, *Figura A3.2*. Probablemente, este sea el segundo tipo de reactor abierto artificial más utilizado, aunque tiene claras desventajas como el bajo aprovechamiento del espacio con altos costes energéticos y de construcción.



*Figura A3.2. Tanques circulares abiertos
[Fuente: Cultivo de Chlorella en tanques circulares en Taiwán]*

Por otro lado, encontramos los *raceways* con estructura en canales. Estos son los reactores abiertos más extendidos en el sector. Están constituidos por estructuras de hormigón y/o plástico, generalmente con forma ovalada, y diseñado de manera que forman canales que se unen resultando en un circuito cerrado, *Figura A3.3*. Estos canales poseen unos sistemas de recirculación y mezclado del aire del fluido que suelen constar también de paletas giratorias o hélices. Sin embargo, estas hélices se disponen de manera que el eje de giro queda paralelo al plano del fondo y se sitúan en varios puntos a lo largo del el circuito. Suelen ser de pequeña profundidad (15 – 20 cm) permitiendo una mayor superficie expuesta a la atmósfera para captar luz y dióxido de carbono, aunque también se diseñan otros más profundos con reflectantes de luz al fondo.



Figura A3.3. Raceway con estructura en canales

[Fuente: Enciclopedia online de educación energética, Universidad de Calgary, Canadá]

Ambos diseños presentan una serie de desventajas, como la dificultad de control de la temperatura, la necesidad de una gran área de terreno, así como las desventajas asociadas a ser un sistema abierto: el riesgo de contaminación por otros organismos o de pérdidas por evaporación.

2.2.- Sistemas cerrados o fotobiorreactores

Los fotobiorreactores son dispositivos cerrados de material transparente utilizados para el cultivo de microorganismos fotosintéticos acuáticos. Cuentan de un receptor solar que en ocasiones puede estar separado y pueden operar, como se explica en el Anejo 1, para desarrollar el cultivo de manera discontinua, semicontinua o continua. En ellos, se mantiene el cultivo totalmente aislado del medio ambiente exterior. Estos reactores están equipados con elementos que producen la agitación, la aireación y el control del pH, así como con sistemas de inyección de CO₂ y adición de medio. Suelen tratarse de dispositivos altamente especializados y en ocasiones pueden ser diseñados especialmente para una especie concreta de cultivo. Para que el cultivo de microalgas sea eficiente, es necesario diseñar fotobiorreactores que transmitan la mayor cantidad posible de luz, lo cual implica una alta relación entre la superficie y el volumen del reactor. De esta forma, la eficiencia de un fotobiorreactor es determinada en base a la captación, transporte, distribución y uso de la luz. Se han diseñado diferentes fotobiorreactores con propiedades específicas, que pueden agruparse en cuatro tipos básicos: columna, tubulares, de superficie plana y de tanque agitado, siendo los dos primeros los más empleados considerando que utilizan luz solar.

2.2.1-Fotobiorreactores de columna

Estos fotobiorreactores cerrados consisten en una columna de burbujeo de material transparente, con un diámetro elevado y una altura adaptada a cada diseño, *Figura A3.4*. Son los sistemas más fáciles de construir, debido a que su forma cilíndrica ayuda a distribuir la luz y soportar bien la presión en la base. Son dispositivos de funcionamiento más sencillo, debido a que el burbujeo realiza tanto la mezcla del sistema, la retirada del O₂ y el aporte de CO₂ que se puede mezclar con la corriente de aireación. Sin embargo, con el fin de mejorar el flujo y prolongar el contacto de los gases, se han diseñado columnas con recirculación interna, lo cual ayuda también a la transferencia de materia.

Su problema principal es el escalado. Esto se debe a que es difícil diseñar columnas de gran volumen ya que, al aumentar el diámetro, se aumenta rápidamente la proporción de volumen oscuro, lo cual disminuye gravemente la productividad del cultivo. Por otro lado, tampoco existe la posibilidad de hacerlas muy altas ya que la alta presión que debería soportar la base, dificultaría el burbujeo y podría causar estrés hidrodinámico. Además, por su posición vertical, tampoco son sistemas de alta captación de luz, especialmente a mediodía, momento en el cual la luz solar se proyecta desde el punto más alto haciendo casi imposible que incida algo sobre el material transparente lateral, siendo precisamente el momento de máxima radiación solar. Por esta razón, se han diseñado algunas columnas de burbujeo con disposición inclinada aunque su construcción y funcionamiento son más complejos.

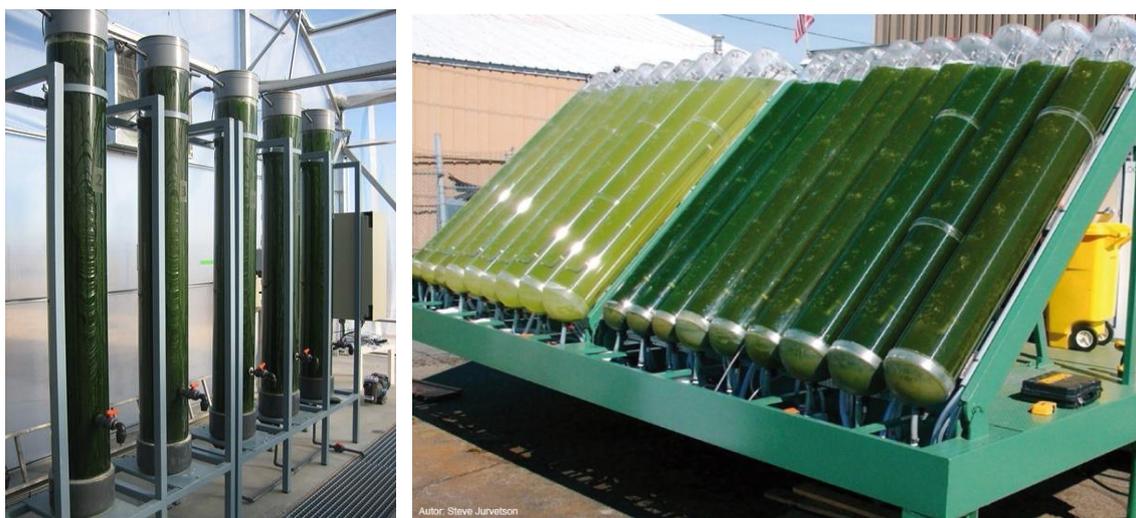


Figura A3.4. Fotobiorreactores de columna verticales e inclinados
 [Fuente: Plataforma tecnológica de experimentación con microalgas ALGAENERGY, Madrid]

2.2.2.- Fotobiorreactores tubulares

Este tipo, son los más fáciles de escalar incrementando su longitud, número de tubos y uniendo múltiples unidades por medio de colectores, existiendo diferentes configuraciones. De forma general, en su diseño se distinguen dos partes: lazo y desgasificador.

El desgasificador, es el encargado de producir el intercambio de materia, que suele consistir en la eliminación del oxígeno y en los intercambios térmicos mediante cambiadores térmicos instalados. El lazo es la parte formada por los tubos, realmente formada por un tubo compactado con codos y curvas. Es la parte en la que se lleva a cabo la captación de la energía solar, de manera que tendrá un diseño específico para esta función, sin que sea necesario preocuparse por el intercambio de calor o de materia, permitiendo así optimizar la productividad y maximizando la actividad fotosintética. Según la orientación de estos tubos, se distinguen tres tipos de reactores.

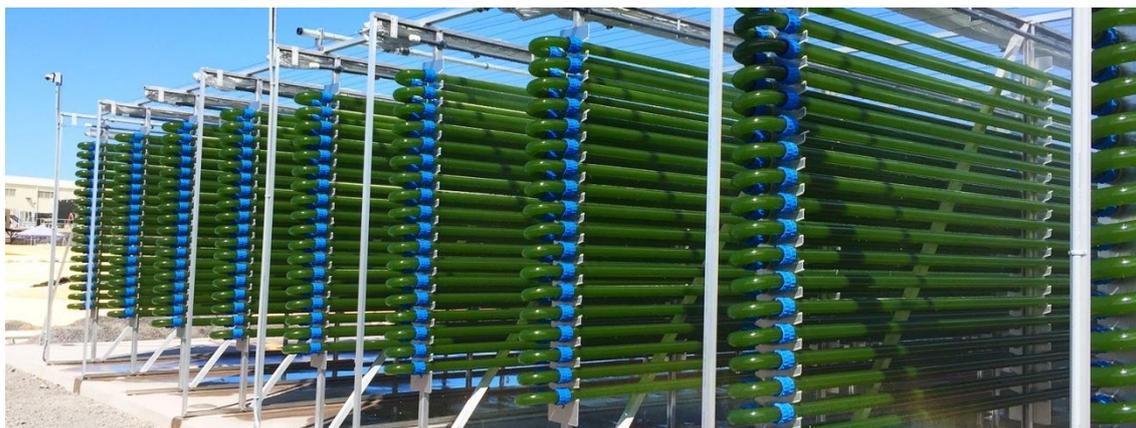
Por un lado se encuentran los tubulares verticales, formados por tubos verticales transparentes que pueden ser de vidrio o polietileno, *Figura A3.5.*, transparentes, para aprovechar la penetración de luz natural. En el fondo, se ubica un rociador que esparce pequeñas burbujas de manera que se consiga una buena mezcla, suministro eficiente de dióxido de carbono y un movimiento del oxígeno. Su escalamiento no es sencillo, y en ocasiones para conseguir un volumen de cultivo suficiente y que haya una velocidad de transferencia de gas eficiente, es necesario un diámetro del tubo mayor del deseado, lo cual implica que la relación superficie/volumen sea menor, restringiendo así la eficiencia fotosintética del cultivo.



*Figura A3.5. Fotobiorreactor tubular vertical
[Fuente: SCHOTT Ibérica S.A.]*

Por otro lado, existen los reactores tubulares horizontales, *Figura A3.6.* Este tipo puede presentar varios diseños. Su forma, ofrece grandes ventajas frente a cultivos en sistemas abiertos debido a que su orientación hacia el sol es más fácil, resultando en una alta eficiencia en conversión de luz. En estos sistemas pueden incorporarse pequeños elementos intercambiadores de gas en los codos de los tubos. Los fotobiorreactores tubulares horizontales pueden manejar grandes volúmenes ya que su riesgo de contaminación de mucho menor.

Sin embargo, una desventaja fundamental, es que pueden generar grandes cantidades de calor que podrían afectar a la estructura. Para ello, se han adoptado algunos métodos de enfriamiento, como por ejemplo rociar con agua el exterior del dispositivo, solapamientos de tubos, la inmersión del sistema en piscinas con agua a temperatura controlada y, sobretodo, regular la temperatura de la alimentación en la recirculación.



*Figura A3.6. Fotobiorreactor tubular horizontal
[Fuente: SCHOTT Ibérica S.A.]*

Por último, existe una última disposición que son los tubulares helicoidales, destacando el fotobiorreactor Biocoil, el cual se compone por un set de tubos de polietileno, que se encuentran enrollados en un armazón circular abierto, *Figura A3.7*. Este armazón, está acoplado a una torre de intercambio de gas y a un intercambiador de calor. También posee una bomba centrífuga que hace llegar el medio hasta la torre de intercambio de gas.

Este dispositivo es, actualmente, uno de los más eficaces debido principalmente a que su relación superficie/volumen es muy alta en extensiones de terreno muy pequeñas, lo que implica que obviamente su coste de diseño, instalación y operación es muy elevado. Debido a la inyección de gas pulsada, la velocidad de mezcla durante el procedimiento es alta; consumiendo además una baja cantidad de energía. También se ha integrado un tubo interno como fuente de luz, de manera que el control de luz es más sencillo, con una intensidad adecuada y una trayectoria corta hasta los microorganismos fotosintéticos, de manera que se mantiene también la temperatura correcta.



*Figura A3.7. Fotobiorreactor tubular helicoidal
[Fuente: GICON – GroßmannIngenieurConsultGmbH, Alemania]*

2.2.3.-Fotobiorreactores de superficie plana o flat plate

Este tipo de fotobiorreactores se inventaron y diseñaron para que el uso de la luz solar fuera más eficiente, de tal manera que sus paneles están contruidos con una relación superficie/volumen grande. Además, la disposición de estos dispositivos es fácilmente orientable hacia el sol, lo cual permite mejor eficiencia en términos de energía absorbida.

El material de construcción suele ser, como en los anteriores, material transparente como vidrio, plexiglass o policarbonato, *Figura A3.8*. La agitación se suele realizar también mediante burbujeo de aire, que normalmente viene de un tubo perforado a uno de los lados del panel o por rotación mecánica a través de un motor. Algunos diseños cuentan también con dispositivos de enfriamiento por agua. Este fotobiorreactor puede escalarse de tal manera que se organicen varias placas para ganar área, aunque no se aconseja el alargamiento de la placa para conseguir un mejor escalamiento, sino que es mejor aumentar la altura del líquido y ampliar la trayectoria de la luz.



Figura A3.8. Fotobiorreactores de superficie plana
[Fuente: BIOS-FIN Systemde Charles Lee, en BiosDesignCollective blog online]

2.2.4.- Fotobiorreactores de tanque agitado

Este tipo de reactor es el más convencional a nivel de mercado. Consiste en un tanque construido en material variable con una agitación mecánica dada por uno o varios impulsores que pueden tomar diferentes formas y tamaños, esquema en la *Figura A3.9*.

Posee también deflectores para reducir el efecto torbellino que pueda ser creado por los impulsores. Desde el fondo del fotobiorreactor se introduce aire enriquecido con CO₂, que será la fuente de carbono para el crecimiento de los microorganismos cultivados. En estos dispositivos, deben adaptarse sistemas de iluminación interna para conseguir una distribución de la luz lo más homogénea posible; ya que, debido a que presenta una baja relación superficie/volumen, la eficiencia fotosintética puede verse disminuida.

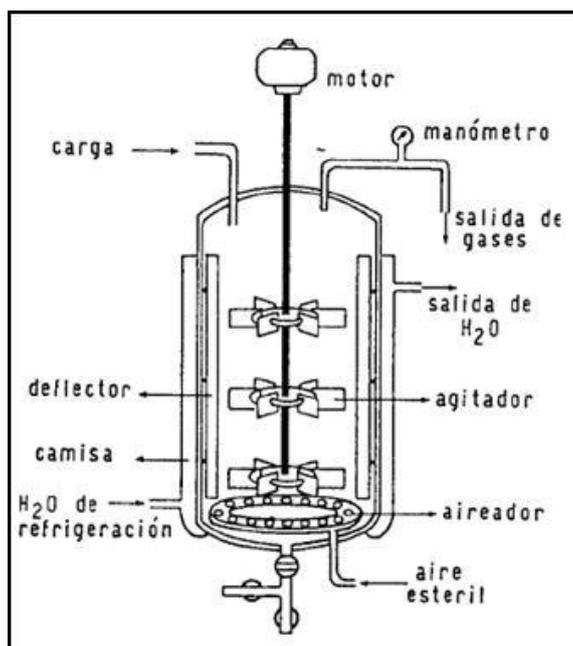


Figura A3.9. Esquema de un tanque de agitado
 [Fuente: Apuntes de la asignatura "Simulación de procesos", Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Ecuador (autor desconocido)]

3.- Obtención de los lípidos microalgales

3.1.- Cosecha de la biomasa

Los métodos de cosecha de la biomasa de un cultivo microalgal buscan básicamente una facilidad y una rentabilidad que no desfavorezca al proceso total de cultivo y obtención de lípidos celulares microalgales. Actualmente existen diversas tecnologías disponibles para realizar esta operación, describiendo y comparando más adelante las más utilizadas.

Además, estos procesos, pueden llevarse a cabo con o sin una coagulación-floculación previa, dependiendo del cultivo, su densidad celular y su facilidad de cosecha. El fin de este pretratamiento, es mejorar la separación de las partículas microalgales de la fase líquida mediante el uso de coadyuvantes y floculantes. La coagulación se obtiene utilizando sales de hierro y aluminio con cationes que pueden ser di o trivalentes. Con ello, se reduce la carga superficial negativa de los coloides y se produce una reducción de la repulsión electrostática, por lo que la aglomeración y la sedimentación aumentan ya que se permite que las fuerzas intermoleculares de Van der Waals actúen. Otro método para la inducción de la aglomeración es el cambio en el pH, que puede funcionar en algunas cepas y con controles precisos, adicionando algún compuesto que pueda modificar el pH sin dañar las células. A continuación, se lleva a cabo la floculación mediante elementos floculares, polímeros catiónicos solubles, que de igual manera neutralizan la carga negativa de los coloides, de manera que alteran las interacciones repulsivas electrostáticas entre estos y forman puentes. Estos agente floculantes serán más efectivos con un peso molecular y una densidad de carga mayores de los coloides; siendo uno de los floculantes más utilizados el chitosan, de origen natural.

Dentro de los métodos de cosecha, encontramos la sedimentación, un proceso sencillo que se produce mediante una decantación del cultivo completo, formado por el medio líquido y los microorganismos. Se lleva a cabo con un decantador o espesor, un equipo que aumenta la concentración de la suspensión por la sedimentación de las partículas sólidas, formando una fase líquida diferenciada de color claro. Para obtener la mayor capacidad posible en un decantador de un tamaño dado, la velocidad de sedimentación debe ser tan elevada como sea posible. Estos equipos disponen frecuentemente de un agitador que actúa a baja velocidad provocando una disminución de la viscosidad aparente de la suspensión, colaborando así en la consolidación del sedimento.

La segunda de las tecnologías para la cosecha es la filtración, que consiste en la separación de sólidos contenidos en un líquido con un alto grado de concentración. Este método ha sido muy utilizado tradicionalmente debido a que es sencillo y económico; sin embargo, su eficacia es muy baja si se compara con los sistemas más desarrollados en la actualidad debido a que trabaja principalmente la filtración por gravedad lo que hace que sea poco preciso en especies de algas unicelulares.

Dentro de los equipos de filtración, podemos distinguir tres grandes grupos, los filtros prensa de placas y marcos, los filtros de hojas y los filtros rotatorios, siendo de estos últimos los de tipo continuo los más utilizados. Estos son filtros de succión, en los cuales se realiza un filtrado, lavado, secado y descarga de la torta de manera automática, precisando por lo tanto de poca mano de obra.

El último método y más utilizado para la separación biológica de un fluido es la centrifugación, que consiste en la sedimentación de partículas muy finas mediante en fuerzas centrífugas en suspensiones líquidas. Este sistema es muy adecuado para cultivos de alto valor y de tamaño microscópico, instalándose a gran escala con dispositivos que eliminan de manera continua los constituyentes separados. Las centrifugas están formadas básicamente por cámaras o tanques que disponen de un sistema de centrifugación que puede ir desde turbinas hasta discos, que hace que los sólidos sedimenten sobre la pared y se separen de la fase líquida.

3.2.- Extracción de lípidos

La extracción de los lípidos celulares también es un proceso de alta importancia tanto por su eficiencia como por el costo que puede suponer. Existen diversos métodos que serán descritos a continuación además de un pretratamiento que se ha desarrollado y que puede realizarse o no, estando orientado a alcanzar un mayor rendimiento del aceite. Este pretratamiento consiste habitualmente en un rompimiento celular para facilitar la salida de los aceites. Tradicionalmente, este rompimiento se llevaba a cabo mediante una destrucción mecánica que consiste en la pulverización, mediante impactos, de la biomasa seca. Este método cumple una doble función: por un lado, permite la homogeneización de la biomasa permitiendo que la superficie de contacto celular con el solvente a utilizar sea máxima; por otro lado, destruye la pared celular liberando tanto los lípidos como otras sustancias presentes; esto, resalta su preferente utilización en conjunto con métodos de extracción por solvente químico.

Una vez realizado, o no, el rompimiento previo, se lleva a la cabo la extracción lipídica. Dentro de los diversos métodos se encuentra la extracción enzimática en la cual se degrada la pared celular de las microalgas mediante el empleo de enzimas, facilitando la salida de los aceites. Estas enzimas pueden ser utilizadas también para transformar los ácidos grasos presentes en las microalgas, en lípidos aptos para su posterior transesterificación. Sin embargo, la actividad enzimática se ve afectada por muchas variables, como la naturaleza de la enzima, la concentración, la composición de los aceites,... de manera que este método es de utilidad incierta en los diferentes casos.

Otro método utilizado tradicionalmente es la extracción con solvente químico adicionado a la masa seca. Entre los solventes más utilizados se encuentran el hexano y el etanol que, en una mezcla apropiada, posibilitan una extracción superior al 98% de los ácidos grasos presentes. Sin embargo, el etanol es un buen solvente pero con una selectividad bastante baja, por lo que en extracciones con etanol pueden aparecer otros componentes como azúcares o pigmentos. Una metodología que intentó eliminar estos problemas extrae lípidos tanto polares como no polares. Esto, se logra usando un solvente apolar, que disuelve los lípidos neutros, en combinación con un solvente relativamente polar, que disuelve los lípidos polares; siendo una de las mezclas más utilizadas cloroformo y metanol. Estos métodos han dado muy buenos resultados y se utilizan con frecuencia, aunque su desventaja principal, el riesgo para el medioambiente por sus emisiones a la atmósfera, ha hecho que se sigan investigando métodos tan eficientes pero más amigables con el ambiente.

Un método más moderno es la electroporación o sonicación. Esto consiste en la exposición de las microalgas a ondas acústicas de una frecuencia determinada, estas ondas son producidas por la transmisión de corriente eléctrica a un sistema mecánico. En un medio líquido, las ondas de ultrasonido producidas, generan millones de burbujas microscópicas que se expanden y colapsan contra las células, causan así la ruptura de la pared celular.

En los últimos años se han desarrollado algunos métodos de extracción alternativos como por ejemplo el Proceso de Extracción Acuosa o AEP que produce de manera simultánea aceite y algunas fracciones ricas en proteína de manera más seguro y menos dañina para la biomasa, y además con una inversión de capital más baja; utilizando incluso diversas enzimas para mejorar este proceso obteniendo hasta el 90% de lípidos. Este proceso, agrupa la cosecha y extracción en un solo paso. Se produce combinando pulsaciones de campos electromagnéticos con modificaciones del pH para romper las paredes celulares, liberando el aceite de las células. Gran parte del aceite de algas se eleva a la parte superior para ser extraído y refinado, mientras que la biomasa microalgal restante, se deposita en el fondo. Aun así, este método aún se produce mediante tecnologías patentes que necesitan grandes avances por lo que actualmente no son utilizadas a escala comercial.

Anejo 4:
DIMENSIONAMIENTO DE
REACTOR HRAP *RACEWAY*

ÍNDICE DEL ANEJO 4: DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR HRAP RACEWAY

1. Introducción	A4.1
2. Altura del canal	A4.1
3. Dimensionado de los canales	A4.2
4. Sistema de agitación y mezcla.....	A4.3
4.1. Selección del equipo de agitación	A4.6
5. Material de construcción	A4.7

1.- Introducción

En el siguiente anejo se detalla el diseño del reactor seleccionado para su implantación en la planta depuradora existente, un reactor abierto de alta densidad (HRAP: *High Rate Algae Pond*) tipo *raceway* con estructura en dos canales o lazos, siendo este el elemento más importante del proyecto. Se determinan los cálculos necesarios para el dimensionamiento en función de las variables y los parámetros que mayor influencia tienen sobre la producción del estanque, así como el único equipo adicional que incluye: un agitador o mezclador de paletas. Se trabajará dimensionando el reactor principalmente en base a su altura y su volumen productivo

En comparación con reactores del mismo tipo pero diseñados para otros cultivos, no se añade un sistema de alimentación de nutrientes debido a que el agua que será medio de cultivo contará con la materia orgánica y los nutrientes necesarios para el crecimiento de la población de microorganismos al tratarse de un agua residual que debe ser depurada. Tampoco se instala un sistema de alimentación de CO₂, que generalmente se trata de un foso de aireación en este tipo de reactores, debido a que el objetivo del proyecto es diseñar un fotobiorreactor para un cultivo microalgal en presencia de bacterias promotoras del crecimiento las cuales, en su metabolismo, producirán el dióxido de carbono necesario para el crecimiento de las algas. De esta manera, se pretende conseguir que el proceso sea lo más beneficioso posible para el medioambiente a la vez que se disminuyen gastos de construcción dándole rentabilidad al producto obtenido: los lípidos celulares que serán materia prima para la industria del biodiesel.

2.- Altura del canal

Para realizar el dimensionamiento y escalado del reactor *raceway* deben conocerse los parámetros siguientes: la altura del canal, el número de canales deseados y la longitud y ancho de estos. Al tratarse de un fotobiorreactor en el cual se desarrollará un cultivo microalgal y, por lo tanto, dependiente en su productividad de la radiación solar incidente en el medio y capaz de atravesar el fluido, la profundidad del estanque es uno de los puntos más importantes para alcanzar unos valores de producción elevados próximos al objetivo.

El crecimiento diario microalgal, es decir, la productividad de biomasa, depende tanto de las radiaciones medias incidentes en el cultivo como de la profundidad del reactor, siendo esta en realidad la distancia que debería recorrer la luz dentro del recipiente hasta llegar a las células fotosintéticas. Es por ello, que la profundidad del reactor es un factor fundamental en el dimensionamiento debido a que, al aumentar la profundidad de este, la radiación tiene mayores distancias a recorrer y la biomasa más profunda puede no recibir radiación, disminuyendo así la productividad de manera elevada.

En base a bibliografía consultada, se establece como dato de partida que la profundidad fijada para el posterior dimensionamiento del diseño será de 0,25 m; pudiéndose calcular a partir de este primer dato el resto de dimensiones del equipo que serán necesarias para obtener la productividad esperada en nuestro cultivo.

3.- Dimensionado de los canales

Como se ha indicado anteriormente, el fotobiorreactor diseñado se añadirá a una línea de tratamiento de aguas residuales ya existente, sustituyendo a los equipos del tratamiento secundario, de manera que el caudal que éste recibirá será el volumen de agua saliente del tratamiento primario consistente en el tamiz rotatorio y el sedimentador ya instalado. Conocido el valor de este caudal desde los datos de operación de la planta, 72,64 m³/día y establecido como tiempo de residencia del agua en el reactor necesario para que todo el volumen de agua sea renovado totalmente de 4 días; se calcula el volumen necesario del reactor mediante la *Ec. A4.1* y su superficie mediante la *Ec. A4.2* en base a la altura propuesta :

$$V = Q \tau \quad \text{Ec A4.1.}$$

Donde: V : volumen total del reactor, m³
 Q : caudal diario de operación, m³/día
 τ : tiempo de residencia, día

$$S = \frac{V}{H} \quad \text{Ec. A4.2.}$$

Donde: S : superficie total del reactor, m²
 V : volumen total del reactor, m³
 H : profundidad del reactor, m

Conocida la superficie del reactor, el dimensionamiento del mismo se realiza siguiendo las ecuaciones de W. J. Oswald. Se establece un diseño que, para facilidad de dimensionado, construcción y operación, cuente únicamente con 2 canales de flujo de cultivo y se obtienen las dimensiones de estos mediante la *Ec. A4.3*.

$$S_{unitaria} = L * D * N^{\circ} \text{ canales} \quad \text{Ec. A4.3.}$$

Donde: $S_{unitaria}$: superficie del reactor, m²
 L : longitud del lazo o canal, m
 D : anchura del lazo o canal, m
 $N^{\circ} \text{ canales}$: 2

Reformulando la ecuación es posible conocer la longitud y la anchura de cada canal por las ecuaciones *Ec. A4.4* y *Ec. A4.5*, aplicando el parámetro de diseño adoptado por Oswald L/D con un valor de 20:

$$L = \left[\frac{S_{unitaria} \left(\frac{L}{D} \right)}{N^{\circ} \text{ decanales}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. A4.4.}$$

$$D = \frac{S_{unitaria}}{L * N^{\circ} \text{ decanales}} \quad \text{Ec. A4.5.}$$

Así, se obtiene que para una profundidad fijada de 0,25 m y con un volumen de caudal de entrada de 72,64 m³/día y un tiempo de residencia de 4 días, el reactor tipo *raceway* diseñado con 2 canales, cuenta con una longitud de canal de 107,80 m y una anchura de canal de 5,39 m, produciendo una anchura total de 10,78 m y una superficie de 1162,24m². Como datos reales de dimensionamiento, se trabajará con valores exactos a fin de facilitar el escalado y construcción, siempre y cuando las variaciones de los valores no sean contraproducentes y/o elevadas. Se resumen estos datos en la *Tabla A4.1*.

Tabla A4.1. Dimensiones reales del reactor

Profundidad del canal	0,25m
Número de canales	2
Longitud del canal	110 m
Anchura del canal	5,50 m
Anchura total del reactor	11 m
Superficie total	1210m ²
Volumen productivo	302,5 m ³

4.- Sistema de agitación y mezcla

El diseño propuesto para el reactor estructurado en dos canales hace necesaria la implantación de un sistema de agitación del fluido, de manera que se facilite la eficiencia del transporte de materia y organismos en el medio, se impida la sedimentación de las algas y su adherencia a las paredes del reactor y se homogeneíce el pH y la distribución de los gases. Además, si esta agitación se produce de manera correcta se pueden producir ciclos rápidos de mezcla en los que las algas pasan de zonas oscuras a iluminadas en cuestión de milisegundos.

Se decide acoplar un agitador de paletas que cree un flujo turbulento debido a que son los más apropiados para cultivos microalgales de alta densidad. Este agitador llevará un motor el cual deberá ser capaz de mover todo el volumen del cultivo, por lo tanto es necesario calcular la energía que este debe suministrar para hacer circular el flujo.

Sin embargo, una alta velocidad de circulación o una gran fuerza de agitación puede causar daños físicos en los microorganismos, de manera que se concreta una velocidad de circulación media deseada de 0,30 m/s. Para calcular la potencia del motor necesaria para el movimiento de las palas, se utiliza la ecuación *Ec. A4.6* propuesta por W. J. Oswald:

$$P = \frac{Q \rho \Delta d}{102 e} \quad \text{Ec. A4.6.}$$

Donde: *P*: potencia del motor, kW
Q: caudal del cultivo en movimiento, 0,3 m³/s
ρ: densidad del cultivo, 1000 kg/m³
Δd: diferencia de altura creada en la inmediatez de las palas, m
e: eficiencia *paddle wheel*, eficiencia de conversión del movimiento de rotación del eje en movimiento lineal del fluido, 0,5 para agitadores de paletas planas.

Para poder abordar este cálculo, es necesario conocer previamente la diferencia de altura creada en la inmediación de las palas, para ello se realizan diversas operaciones consecutivas partiendo de la determinación del radio hidráulico y el número de Reynolds, un número adimensional que relaciona las fuerzas inerciales y viscosas de un fluido y caracteriza su movimiento.

$$Re = \frac{\rho v d_h}{\mu} \quad \text{Ec. A4.7.}$$

Donde: Re : Número de Reynolds, adimensional
 ρ : densidad del cultivo, kg/m³
 v : velocidad de circulación, 0,3 m/s
 μ : viscosidad del cultivo, 0,001 kg/m·s
 d_h : diámetro hidráulico, m

$$d_h = 4 r_h \quad \text{Ec. A4.8.}$$

$$r_h = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{Dp}{D+2p} \quad \text{Ec. A4.9}$$

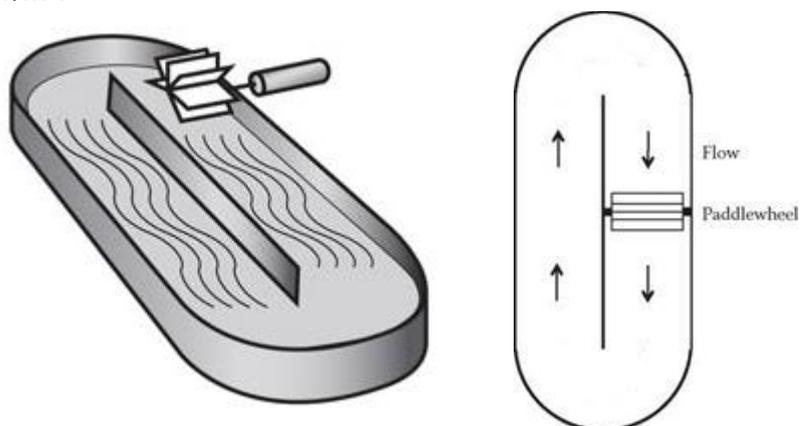
Donde: r_h : radio hidráulico, m
 d : ancho del canal, 5,5 m
 p : profundidad del canal, 0,25 m

Introduciendo los datos en las ecuaciones anteriores, obtenemos que el radio hidráulico del canales 0,23 m, lo que significa que el diámetro hidráulico es 0,91 m. Así, se calcula que el número de Reynolds es 273000, un número elevado debido a que el fluido tiene alta velocidad y baja viscosidad y un régimen turbulento. A continuación, se debe calcular la pérdida de energía hidráulica por fricción que viene determinada por una función compleja que depende de la velocidad al cuadrado, del radio hidráulico y de la fricción propiamente dicha. Sin embargo; para canales abiertos, se utiliza como solución empírica de esta fórmula compleja la ecuación de Manning que, despejando Δd , queda de la siguiente forma:

$$\Delta d = L_T * s = \frac{L_T V^2 n^2}{r_h^{\frac{3}{4}}} \quad \text{Ec. A4.10.}$$

Donde: L_T : longitud total que debe recorrer una partícula en el fluido, 110 m
 s : pérdida de carga por fricción en el canal por unidad de longitud (pendiente de la línea de agua), adimensional
 V : velocidad media del canal, m³/s
 n : factor de fricción de Mannig, depende del material de construcción del canal, 0,010 s/m^{1/3}
 r_h : radio hidráulico, m

Introduciendo los datos necesarios en la ecuación, calculamos que la diferencia de altura creada en la inmediación de las palas es de 0,02m y, con ello, volviendo a la ecuación *Ec. A4.6*, se obtiene una potencia de 0,12kW y un consumo de energía del motor de 0,40W/m³.



*Figura A4.1. Esquema de un reactor raceway con dos canales y agitador de paletas
[Fuente: Hernández Pérez, A. H. 2014. Microalgas: cultivo y beneficios. Revista de Biología Marina y Oceanografía de la Universidad de Valparaíso, Chile]*

4.1.- Selección del equipo de agitación

Una vez realizados los cálculos pertinentes para conocer la potencia necesaria del motor del *paddlewheel* que se desea instalar, se procede a la búsqueda de un equipo de venta en el mercado industrial que se adapte al máximo posible a nuestras necesidades. Debido principalmente a que la potencia del motor requerida es muy pequeña (0,12kW) se decide implantar un modelo de agitador – aireador de pequeñas dimensiones, ya que si se instala un sistema de mayor longitud que pueda abarcar más espacio a lo ancho del canal, tendrá mayor gasto energético innecesario que aumentará el coste de producción. Se propone instalar el modelo de aireador de paletas 1 CV de 2 impulsores de la marca MAOFMadan (*Figura A4.3.*) o similar, cuyas características técnicas quedan resumidas en la *Figura A4.2.*

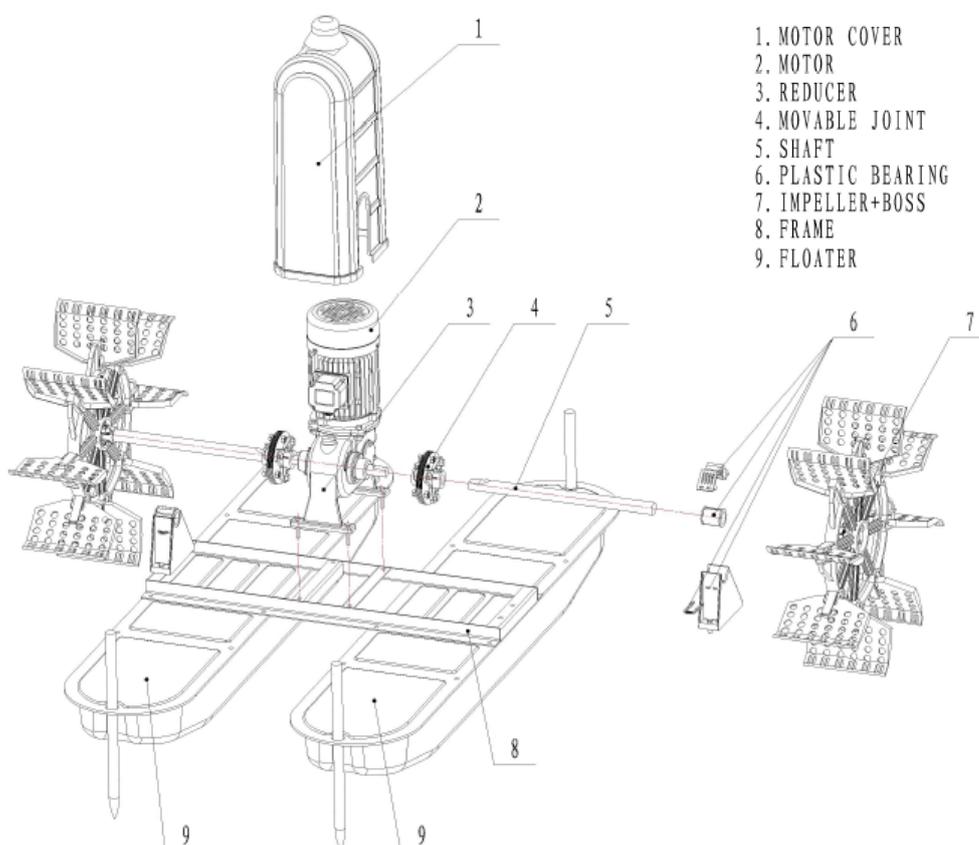


Paddlewheel Aerators						
MODEL	Rated Power	Phase	Voltage	Rated Frequency:	Speed (rpm)	Length (cm)
1HP PADDLEWHEEL -2 IMP	0.75w	1PH/ 3PH	110V/220V/240V 440V/460V/480V	50Hz/60Hz	1420 Rpm/1750 Rpm	155 cm



PART LIST	UNIT PER AERATOR
MOTOR	1
GEARBOX	1
PLASTIC MOTOR COVER	1
FLOAT	2
FRAME for 2 IMP'	1
SS SHAFT 2 IMP'	2
SHAFT CONNECTOR	2
IMPELLER	2
BEARING & SHAFT	2
SUPPORT	2
BOLT&NUT SET	1

Figura A4.2. Características técnicas del Aireador 1 HP – 2 impulsores de MAOFMadan [Fuente: www.maofmadan.com]



- 1. MOTOR COVER
- 2. MOTOR
- 3. REDUCER
- 4. MOVABLE JOINT
- 5. SHAFT
- 6. PLASTIC BEARING
- 7. IMPELLER+BOSS
- 8. FRAME
- 9. FLOATER

Figura A4.3. Aireador 1 HP - 2 impulsores de MAOFMadan [Fuente: www.maofmadan.com]

5.- Material de construcción

De manera general, para la construcción de reactores abiertos se emplea hormigón, pero la cara interna del estanque, la cual está en contacto con el medio de cultivo, debe recubrirse de materiales inertes e impermeables, para lo cual se emplean plásticos. En este proyecto no se considera necesaria la construcción de una base estructural en hormigón debido a que el diseño del reactor es sencillo al poseer simplemente dos canales simples y a que, como se ha indicado anteriormente, no lleva acoplados sistemas ni de aireación ni de inyección de nutrientes por lo que su modelado es aún más fácil. Se decide utilizar como material inerte polietileno blanco, debido a su alta disponibilidad, su facilidad de manejo y su precio. La elección del color se fundamenta en que, al ser de color blanco, la radiación que pueda atravesar el fluido directamente y llegue al plástico será reflejada con mayor facilidad hacia el medio para favorecer el cultivo.

Anejo 5:
COSECHA DE LA BIOMASA:
DIMENSIONAMIENTO DEL
EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN

ÍNDICE DEL ANEJO 5: COSECHA DE LA BIOMASA: DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN

1. Introducción	A5.1
2. Fundamentos de la centrifugación	A5.2
2.1. Ley de Stokes.....	A5.2
2.2. Factor G o fuerza centrífuga relativa.....	A5.4
3. Equipos de sedimentación centrífuga.....	A5.4
3.1. Cálculos de diseño	A5.6
3.2. Selección de la centrífuga de discos	A5.10

1.- Introducción

La centrifugación es un método de separación de sólidos y líquidos de diferente densidad. El proceso tiene lugar en una centrifugadora que imprime a la mezcla un movimiento rotatorio con una fuerza mayor que la de la gravedad, lo cual provoca que los sólidos o las partículas de mayor densidad, sedimenten.

Se presenta como el proceso más adecuado para separar suspensiones biológicas en un fluido ya que separan la biomasa de forma eficiente y sin necesidad de añadir compuestos químicos. Sin embargo, el consumo de energía de los equipos es muy alto, lo que provoca un aumento en el coste total del proceso, por lo que se utiliza generalmente en cultivo de alto valor y altas concentraciones ya que además la velocidad de sedimentación de las partículas es muy alta.

Para este proyecto, se decide trabajar con una cosecha de la biomasa mediante centrifugado debido a que es un sistema ampliamente desarrollado para cultivos de grandes escalas. Aunque su consumo energético sea alto, como punto a favor obtenemos una cosecha sencilla y sin necesidad de utilizar componentes químicos que puedan contaminarla o dificultar la extracción posterior de los lípidos celulares.

Además, como se ha acordado la utilización de ultrasonidos para la extracción, y ese método no precisa de trabajar con biomasa deshidratada, se hace aún más interesante la elección de la centrifugación como método de separación de las microalgas del fluido.

Por otro lado, dado que este proceso se acoplará a una línea de depuración de aguas ya existente, se conoce que el efluente separado en este punto pasará posteriormente a un tratamiento terciario que comienza con un proceso anóxico seguido de otra sedimentación y una precipitación química que eliminará totalmente cualquier partícula del agua. Por lo tanto se puede permitir un bajo contenido de partículas cuya densidad no sea lo suficientemente alta como para sedimentar en este proceso, siempre y cuando no repercutan a la productividad final; es decir, que el número de estas partículas sea el mínimo posible.

Relacionado con esto, se encuentra la separación de las bacterias que se han utilizado en el cultivo, debido a que estas son unicelulares y no forman colonias como las microalgas, por lo que su densidad individual es menor. Así, el proceso de separación en la centrifugadora con unos parámetros de operación determinados, permitirá que estas bacterias no sedimenten, pudiendo ser separadas así de la biomasa algal, y continuando el proceso de depuración del efluente.

2.- Fundamentos de la centrifugación

El estudio de las separaciones sólido-líquido por centrifugación está basado en la teoría de la sedimentación, la cual permite desarrollar algunas predicciones del comportamiento de los equipos centrífugos, no sólo para poder especificarlos y dimensionarlos (aunque en la realidad, este problema se reduce seleccionando un modelo de equipo entre las opciones que oferta el mercado), sino también ofrece su apoyo adecuado para su correcta operación. La teoría de la sedimentación está basada en la Ley de Stokes, que establece los aspectos básicos del movimiento de un sólido en un líquido cuando existe un gradiente de densidad. Este movimiento puede ser causado por la fuerza de gravedad o por una fuerza centrífuga. En base a lo anterior, la centrifugación se centra en cuatro aspectos fundamentales: la Ley de Stokes, la sedimentación por acción de la gravedad la sedimentación por acción de una fuerza centrífuga y el factor G o fuerza centrífuga relativa (FCR)

2.1.- Ley de Stokes

La velocidad de sedimentación de una partícula esférica en un medio continuo para Reynolds menores a 1, se describe mediante la Ley de Stokes (para Reynolds entre 1-10³², se rige por la Ley intermedia y para Reynolds mayores de 10³², por la Ley de Newton); por lo que para suspensiones biológicas diluidas, esta ley es aplicable. El número de Reynolds es un valor adimensional que, como se ha visto en la ecuación A4.7 del Anejo 4, la densidad del fluido, su velocidad y el diámetro de la tubería o quipo a través de la cual circula, con la viscosidad del fluido.

La Ley de Stokes establece que cuando se aplica una fuerza a una partícula en un medio continuo, ésta se acelera hasta que alcanza una velocidad a la cual la resistencia a su movimiento iguala la fuerza aplicada. En una sedimentación libre, la fuerza que actúa sobre esta partícula es la de la gravedad, y en una sedimentación centrífuga, es la del campo centrífugo. Las fuerzas que se oponen al movimiento de las partículas se agrupan en la fuerza de empuje o flotación y la fuerza de arrastre descrita por la Ley de Stokes. De esa manera, el balance de fuerzas para una partícula en equilibrio en un medio continuo se expresa por la ecuación A5.1, quedando como la Ec. A5.2 para partículas esféricas.

$$\text{Fuerza de aceleración centrífuga} = \text{Fuerza de flotación} + \text{Fuerza de arrastre} \quad \text{Ec. A5.1}$$

$$\frac{\pi d_p^3 \rho_p a}{6} = \frac{\pi d_p^3 \rho_L a}{6} + 3 \pi d_p \mu v_\infty \quad \text{Ec. A5.2}$$

Donde:

- d_p : diámetro de la partícula, m
- ρ_p : densidad de la partícula, kg/m³
- a : aceleración, m/s²
- ρ_L : densidad del fluido, kg/m³
- μ : viscosidad del fluido, kg/m·s
- v_∞ : velocidad terminal de la esfera, m/s

Esta ecuación se modifica para ser presentada como una expresión de la Ley de Stokes, quedando tal y como se expresa en la A5.3:

$$3\pi d_p \mu v_\infty = \frac{\pi d_p^3 a}{6} (p_p - p_L) \quad \text{Ec. A5.3}$$

Mediante la Ec. A5.3 se determina la velocidad de sedimentación de una partícula. Esta velocidad de sedimentación de la partícula es especialmente interesante en dos casos límite de interés: la sedimentación por acción de la gravedad y la sedimentación por acción de una fuerza centrífuga.

$$v_\infty = \frac{d_p^2 \Delta p a}{18 \mu} \quad \text{Ec. A5.4}$$

Donde: Δp : $\rho_p - \rho_L$

Sedimentación por acción de la gravedad:

En varios procesos de separación líquido-sólido la fuerza impulsora de la sedimentación es sólo la de la fuerza de la gravedad; siendo la velocidad de esta sedimentación por gravedad una información básica para el diseño de cualquiera de los procesos de sedimentación. De acuerdo a la Ley de Stokes, si la aceleración de la sedimentación es la de la gravedad, la velocidad se calcula mediante la Ec. A5.4 de la siguiente manera:

$$v_g = \frac{d_p^2 \Delta p g}{18 \mu} \quad \text{Ec. A5.5}$$

Donde: v_g : velocidad terminal de un campo gravitacional, m/s
 g : aceleración de la gravedad, m/s²

Sedimentación centrífuga:

En las separaciones centrífugas sólido-líquido, la velocidad de sedimentación es mayor que la sedimentación libre o gravitacional, debido a que los equipos al girar producen una mayor aceleración de las partículas. Bajo estas condiciones, la velocidad de sedimentación deriva de la Ec. A5.4 tal y como se expresa en la A5.6:

$$v_w = \frac{d_p^2 \Delta p \omega^2 r}{18 \mu} \quad \text{Ec. A5.6}$$

Donde: v_w : velocidad de sedimentación centrífuga, m/s
 $\omega^2 r$: aceleración centrífuga, m/s²
 ω : velocidad de rotación en radianes, s⁻¹
 r : distancia radial del eje de rotación a la partícula, m

Por lo tanto, esta velocidad de sedimentación puede ser incrementada en un equipo centrífugo aumentando la velocidad de rotación o la distancia de sedimentación (diámetro).

2.2.- Factor G o fuerza centrífuga relativa

En la caracterización y escalamiento de centrífugas frecuentemente se emplea el factor G o la fuerza centrífuga relativa (FCR), comúnmente conocido como "número de ges". Este valor es una medida relativa de la velocidad de sedimentación de una partícula en el campo gravitacional con respecto a su velocidad de sedimentación en el campo gravitacional, por lo que se calcula relacionando la Ec. A5.5 y la Ec. A5.6:

$$G = \frac{v_{\omega}}{v_g} = \frac{\omega^2 r}{g} \quad \text{Ec. A5.7}$$

Este factor, durante la operación de una centrífuga, es la relación de la velocidad de giro del rotor con el radio de giro medido entre el punto medio del tubo de centrífuga y el eje de rotación; a partir de lo cual se desarrolla la siguiente ecuación que se utiliza como expresión práctica para estimar la G.

$$G = 11,19 * 10^{-6} * n^2 * r = \frac{n^2 * r}{89365} \quad \text{Ec. A5.8}$$

Donde: n : velocidad del giro del rotor, rpm

3.- Equipos de sedimentación centrífuga

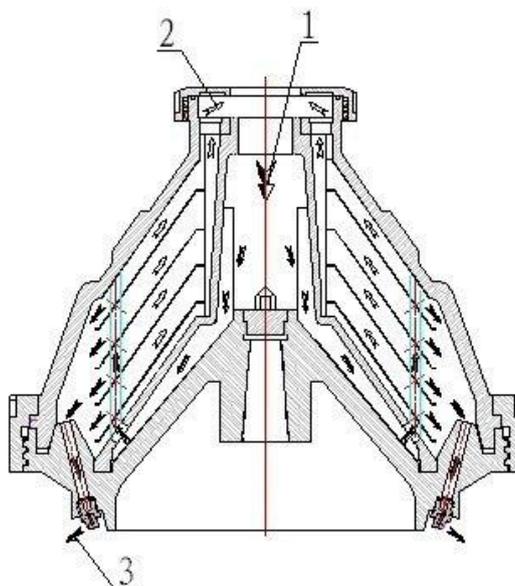
Las centrífugas son instrumentos que permiten someter a las muestras a intensas fuerzas que producen una sedimentación en poco tiempo de las partículas que tienen una densidad mayor que la del medio que las rodea. Su utilización para la separación de fases sólidas y líquidas o incluso para dos líquidos de diferentes densidades está muy extendida a nivel industrial. Es por ello que en el mercado existe múltiples marcas y diseños de manera que, generalmente, el problema del escalamiento de la máquina necesaria se reduce principalmente a la selección del equipo que más se ajusta a las necesidades requeridas en vez de recurrir a un diseño específico para un trabajo particular. En este proyecto, se decide incorporar al sistema un equipo de centrifugación elegido del mercado en base a sus características que lo hacen apropiado para cubrir las necesidades. Dentro de las centrífugas, destacan dos tipos principales: centrífugas tubulares y de discos. A parte de la diferencia estructural entre ambas, su rango de velocidad de centrifugación varía ampliamente, pudiendo trabajar las centrífugas tubulares a 13000 – 17000 x g y las de discos a 5000 – 15000 x g.

Para la elección de la centrífuga a utilizar, se hace mención a Molina Grima¹, quien determinó que una cosecha de microalgas con una eficacia por encima del 95% se obtiene solamente trabajando en centrífugas a 13000 x g, lo cual puede tener efectos negativos en el cultivo pues puede provocar rompimientos celulares debido a las altas fuerzas de centrifugación; y que esta eficiencia de la cosecha baja al 60% trabajando a 6000 x g e incluso al 40% trabajando a 1300 x g.

¹Molina Grima, E. 2002. *Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics*. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Almería

Comparando ambos datos, se elige el uso de una centrífuga de discos ya que, aunque disminuya ligeramente la eficacia, provoca menos rompimientos celulares. Estos equipos constan de un eje vertical que gira el tambor el cual está formado por una serie de discos en forma de cono truncado.

En la *Figura A5.1* se representa un esquema del funcionamiento de estos equipos: el fluido a clarificar se introduce por la parte superior (1) y se divide en varias capas finas entre los discos, creando una alta superficie de clarificación. Los sólidos separados chocan contra la pared del tazón y se depositan en la cámara de sólidos del tambor de donde serán expulsados periódicamente (3). El líquido clarificado circula desde el sistema de discos hasta un tubo de descarga con presión (2). Los discos de estos equipos cuentan con bordos internos que permiten que se mantengan separaciones entre ellos del orden de 0,5-2 mm. El ángulo que forman los conos con la vertical varía entre 35-50° según la aplicación particular de cada diseño.



FiguraA5.1. Centrífuga de discos
 [Fuente: Separadora centrífuga modelo JMLDP450 de la marca Head]

3.1.- Diseño de la centrífuga de discos

Como se ha expuesto anteriormente, en la actualidad, el problema de diseño y escalado de una centrífuga se resuelve con la selección de uno de los modelos que ofrece el mercado que se ajuste al máximo posible a las necesidades que se deben cubrir y las características que debe presentar; ya que es más sencillo obtener un equipo ya existente que fabricar uno específico para cada caso.

Hoy en día en el mercado de centrífugas, clarificadoras y decantadoras, se establecen diversos diseños con características específicas para los usos más extendidos. Debido a esto, se propone un modelo específico que ofrezca buenos resultados, con características y parámetros de operación adecuados para la separación de microalgas.

Con esto, se explica que no se realicen los cálculos específicos de dimensionamiento de la máquina ya que no se pretende diseñar ni fabricar una centrífugaparticular, sino instalar una con buenos resultados en la separación de las microalgas cultivadas en el agua residual.

Sin embargo, se resumirá el proceso y los cálculos que se deben llevar a cabo para el escalado de una centrífuga de discos, a fin de explicar su funcionamiento por dinámica de fluidos, así como los parámetros más importantes en su operación. Para realizar los cálculos de diseño de una centrífuga de discos, se parte del supuesto de que el flujo global que entra en el equipo se divide de manera equitativa entre los espacios formados por los discos, siguiendo la *Ec. A5.8*:

$$Q_n = \frac{Q}{n} \quad \text{Ec. A5.8}$$

Donde: Q : flujo total o gasto volumétrico, m³/s
 n : número de espacios formados entre los discos, adimensional
 Q_n : flujo en cada uno de los espacios, m³/s

El flujo se presenta tanto en dirección angular, suponiendo que el líquido gira a la misma velocidad que los discos, como en dirección paralela a los discos. Para obtener la geometría de la centrífuga, se desarrolla una expresión para el tiempo de residencia y otra para el tiempo de sedimentación que posteriormente se combinan.

Tiempo de residencia en la centrífuga de discos

En una centrífuga de discos, las partículas del flujo sufren movimientos por convección y por sedimentación. El primero de ellos, el movimiento convectivo, es paralelo a los discos, siendo el movimiento por sedimentación en sentido horizontal. Si se toman los ejes de referencia representados en las *Figuras A5.2y A5.3* se establece que el movimiento producido por sedimentación (horizontal) tiene componentes tanto en x como en y . Suponiendo que la velocidad convectiva de la partícula es igual que la del fluido, la velocidad total de la partícula en la dirección x será la resultante de la velocidad convectiva del fluido y la componente en x de la velocidad de sedimentación, la cual se opone a este movimiento.

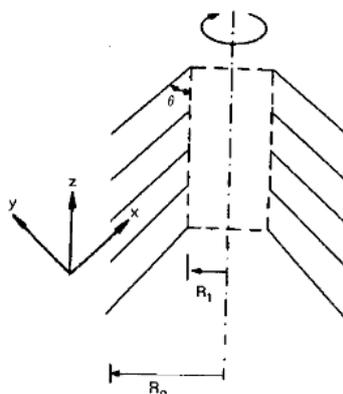


Figura A5.2. Esquema de componentes y planos de una centrífuga de discos
 [Fuente: Huerta Ochoa, S. *Apuntes de Centrifugación*, departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana, México]

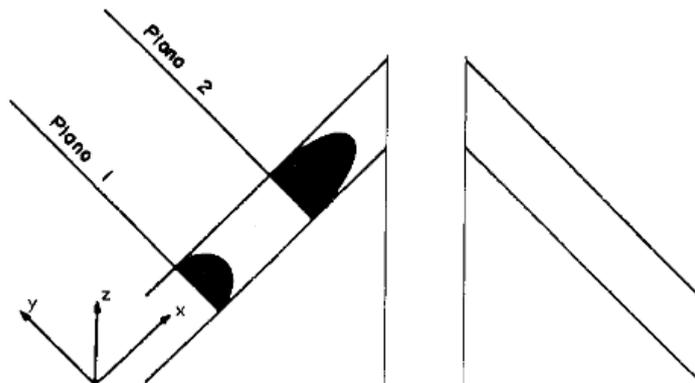


Figura A5.3. Perfil de velocidades de partícula en una centrífuga de discos
 [Fuente: Huerta Ochoa, S. Apuntes de Centrifugación, departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana, México]

Para obtener la expresión que se busca del tiempo de residencia de una partícula en una centrífuga, se empieza por desarrollar la expresión que caracterice la velocidad de la partícula en el sentido x , v_x . Si se considera una sección de película con una longitud determinada en la cual la velocidad v_x depende de y pero no de x , y se desprecian los efectos inerciales; se considera que el sistema está en estado estacionario de manera que el flujo es laminar, pudiendo desarrollar la ecuación de movimiento como queda reflejada en la Ec. A5.9:

$$\frac{dP}{dx} = \mu \frac{d^2 v_x}{dy^2} \tag{Ec. A5.9}$$

Donde: P : presión, atm
 v_x : velocidad de partícula en el sentido x , m/s

Si se integra esta operación dos veces entre sus límites,

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Para } y = \frac{a}{2}, \quad v_x = 0 \\ \text{Para } y = -\frac{a}{2}, \quad v_x = 0 \end{array} \right.$$

se obtiene la siguiente expresión de v_x :

$$v_x = \frac{\Delta P a^2}{8\mu L} \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right] \tag{Ec. A5.10}$$

Donde: a : espesor de la película, m
 L : longitud de la película, m

Esta última operación, la *Ec. A5.10*, se puede expresar en términos de Q_n considerando un área de flujo aproximada a un rectángulo con anchura a y largo $2\pi r$, tal que r es la distancia entre el eje de giro del sistema de discos y la posición de la partícula (siendo el radio de la circunferencia que describiría); quedando la ecuación integral *A5.11*:

$$Q_n = \frac{\pi \Delta P a^3 r}{6 \mu L} \quad \text{Ec. A5.11}$$

Combinando las ecuaciones *A5.10* y *A5.11*, se obtiene la siguiente operación:

$$v_x = \left(\frac{3Q_n}{4\pi r a} \right) \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right] = \left(\frac{3Q}{4n\pi r a} \right) \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right] \quad \text{Ec. A5.12}$$

Esta operación, la *Ec. A5.12* es la que describe el perfil de la velocidad de partícula de la película además de describir su comportamiento en diferentes planos en función de la velocidad promedio. De esta manera, es posible obtener a partir de ésta una expresión para un diferencial de tiempo de residencia que queda en función de r , debido a que la diferente posición respecto al eje de las partículas del flujo hará que su tiempo de residencia dentro del tazón de la centrífuga sea distinto:

$$t_r = \int \frac{dx}{\left(\frac{3Q}{4n\pi r a} \right) \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right]} \quad \text{Ec. A5.13}$$

Tiempo de sedimentación y gasto volumétrico

El tiempo de sedimentación de una partícula en una centrífuga depende tanto de la velocidad de sedimentación como de la distancia de sedimentación, y una vez conocido se puede obtener el gasto volumétrico manejable del equipo. Para desarrollar expresiones que permitan calcular el tiempo de sedimentación de una partícula en una centrífuga, se consideran dos casos de interés:

1. El tiempo necesario para el 100% de sedimentación, y su respectivo gasto volumétrico, que es el tiempo de sedimentación para la partícula más difícil de sedimentar ya que es la que más lejos se encuentra de la pared del tazón de la centrífuga, lo que implica que llegado el momento en el que esa partícula sedimente, todos los sólidos del flujo habrán sedimentado.
2. El tiempo necesario para el 50% de sedimentación, y su respectivo gasto volumétrico, que es el tiempo necesario para la sedimentación o separación de la mitad de las partículas de la suspensión, calculándose con un tamaño de partícula fijado. Este caso es de especial interés y práctica en bioseparaciones sólido – líquido, como el caso particular de nuestro proyecto.

Trabajando con una centrífuga de discos y tomando de nuevo como referencia las Figuras A5.2 y A5.3, se calcula el tiempo para el 100% de sedimentación basado por un lado en la partícula más difícil de capturar, la cual se localiza en la parte inferior derecha de la película donde:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = 0 \\ y = \frac{-a}{2} \end{array} \right.$$

y por otro lado, en la parte más lejana en la que esa partícula puede sedimentar, que será la parte superior izquierda de la película, con:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{R_0 - R_1}{\text{sen}\theta} \\ y = \frac{a}{2} \end{array} \right.$$

(Referencias en la Figura A5.2)

La velocidad de sedimentación centrífuga en sentido radial está dada por la Ley de Stokes mencionada anteriormente, de manera que el tiempo de sedimentación se puede expresar como un diferencial en función del diferencial del radio, dr :

$$dt_s = \frac{gdr}{v_g \omega^2 r} \quad \text{Ec. A5.14}$$

Como condición principal para el diseño de una centrífuga, el tiempo de sedimentación de una partícula debe ser igual o menor a su tiempo de residencia dentro del equipo, lo que permite una correcta sedimentación de los sólidos y una clarificación del flujo. Por esta razón, para el cálculo de diseño se igualan las expresiones correspondientes a ambos tiempos, las ecuaciones A5.13 y A5.14, obteniendo:

$$\frac{gdr}{v_g \omega^2 r} = \frac{dx}{\left(\frac{3Q}{4n\pi r a}\right) \left[1 - \left(\frac{2y}{a}\right)^2\right]} \quad \text{Ec. A5.15}$$

A partir de la ecuación anterior A5.15 y realizando los cambios de variable necesarios, es posible calcular el gasto volumétrico o el caudal, Q , al que puede operar la centrífuga con un tiempo de operación determinado que certifique una sedimentación completa de sus sólidos, es decir, una separación total de las fases sólido – líquido y una obtención de un flujo final sin partículas no deseadas:

$$Q = v_g \left[\frac{2\pi n \omega^2}{3g} (R_0^3 - R_1^3) \cot\theta \right] = v_g \Sigma \quad \text{Ec. A5.16}$$

En la ecuación anterior se define Σ , para la centrífuga de discos como el valor que queda dentro de los corchetes y que oscila entre 400-120.000 m². Σ es un concepto que fue desarrollado por Ambler, 1975, y que es muy utilizado en el campo de la sedimentación centrífuga ya que se trata de una constante que representa la geometría de la centrífuga, siendo diferente para cada tipo de centrífuga. Una vez conocido el valor de Σ , el tiempo para el 50% de sedimentación se calcula de manera análoga al anterior, quedando la ecuación A5.17, obteniendo Q' , el caudal con un tiempo para el 50% de sedimentación:

$$Q' = 2v_g \Sigma \quad \text{Ec. A5.17}$$

El valor de Q como gasto volumétrico o caudal del flujo con el que puede operar correctamente una centrífuga, es la característica más destacable cuando se busca en el mercado uno de estos equipos y suele estar expresado en l/h.

3.2. Selección de la centrífuga de discos

A la hora de incorporar en el proyecto un equipo de centrifugación, también conocidos como clarificadores, se recurre a las numerosas opciones que presenta el mercado y se elige un modelo apropiado para nuestro fin. Es decir, las marcas y empresas de fabricación de centrífugas, especifican para cada uno de sus modelos disponibles, la finalidad para la cual han sido diseñados. De esta manera, se propone la adquisición e instalación de una centrífuga de discos de la marca Flottweg, en concreto de la serie AC el modelo AC1000, o similar. Las características técnicas que debe satisfacer se muestran en la *Tabla A5.1* y su funcionamiento en la *Figura A5.4*.

Tabla A.51. Datos técnicos de la centrífuga

MODELO	AC 1000
Máx. volumen del tambor (l)	5
Máx. volumen de sólidos (l)	1,5
Tamaño del motor (kW)	5,5
Dimensiones (LxAxAxF en mm)	1100 x 600 x 1000 x 1500
Peso bruto	390
Capacidad hidráulica (l/h)	10000

Funcionamiento de la centrífuga:

El producto a ser clarificado se introduce a través de un tubo de alimentación estacionario (1, en la *Figura A5.5*) en el interior del tambor y es acelerado suavemente a la velocidad del tambor por el distribuidor (2). El paquete de discos (3) del tambor divide la corriente de producto en varias capas finas y crea una gran superficie de clarificación. La separación sólido – líquido tiene lugar en el interior del paquete de discos. Como consecuencia de la alta fuerza centrífuga, los sólidos separados se depositan en la cámara de sólidos del tambor (4). Los sólidos separados son expulsados periódicamente a plena velocidad (6) mediante un sistema hidráulico accionando el pistón deslizante (5) y un ciclón de sólidos. El líquido clarificado circula desde el sistema de discos hasta un rodete centrípeta (7) que descarga el líquido de la máquina con presión (8)

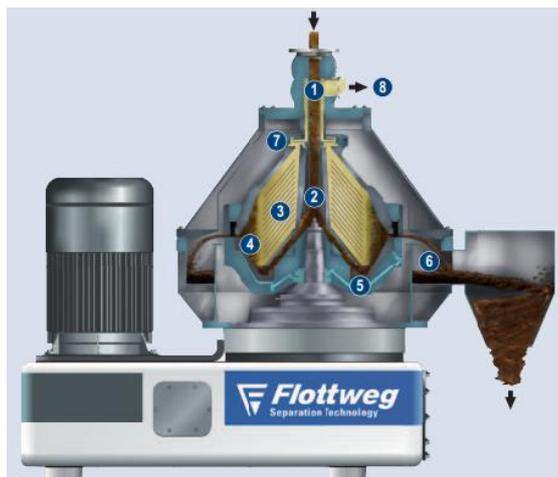


Figura A5.4. Esquema de la centrifuga AC1000 de Flottweg [Fuente: www.flottweg.com]

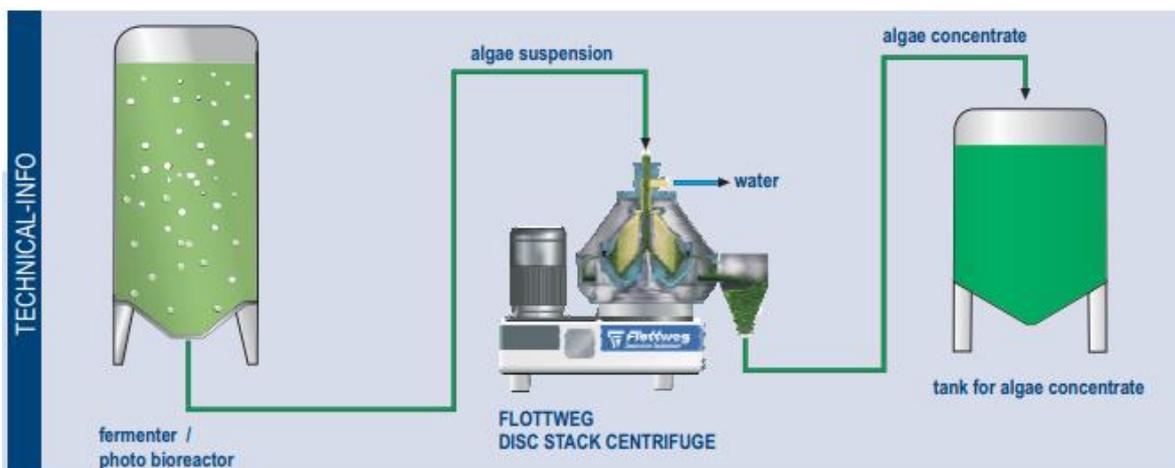


Figura A5.5. Proceso de cosecha de microalgas con centrifuga de discos de Flottweg [Fuente: www.flottweg.com]

Anejo 6:
DIMENSIONAMIENTO DE LA
EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS
MEDIANTE ULTRASONIDOS

ÍNDICE DEL ANEJO 6: DIMENSIONAMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS MEDIANTE ULTRASONIDOS

1. Introducción	A6.1
2. Proceso de extracción de lípidos mediante ultrasonidos.....	A6.1
2.1. Ultrasonicación con solventes: método de Bligh & Dyer	A6.3
3. Equipo de ultrasonidos	A6.3

1.- Introducción

El proceso de extracción de los lípidos celulares de las microalgas depende en gran medida de factores intrínsecos de la cepa de microalgas, tales como su tamaño o tipología. La especie algal adoptada para este proyecto es *Scenedesmus obliquus*, la cual presenta hasta un 70% de contenido en aceite en su peso en seco. Otro gran factor que influye en este proceso, es la tecnología seleccionada para su obtención, de la que se exige elevados rendimientos económicos con una operación sencilla y técnicas fáciles que no dañen los productos obtenidos.

Se ha propuesto utilizar el método de extracción con ultrasonidos. Este se realiza mediante un aparato de ultrasonidos que crea burbujas de cavitación en el solvente, estas burbujas al explotar en las proximidades de las paredes celulares provocan su ruptura liberando así el aceite que contienen. Los solventes usados generalmente en este tipo de procesos son hexano, metanol, cloroformo, etanol y acetona. El proceso de extracción de los lípidos celulares mediante ultrasonidos presenta una alta eficacia, llegando a un 85-95% dependiendo del equipo, la técnica y la biomasa a procesar; y tiene un coste económico lo suficientemente bajo como para hacer que este sistema sea rentable y no aumente el coste total de producción de biodiésel.

Además, esta ultrasonicación a la que se ven sometidos los productos celulares, mejoran su mezcla y aumenta su reactividad química lo cual favorece al posterior proceso de transesterificación, disminuyendo hasta un 90% el tiempo necesario para la conversión química de los reactivos.

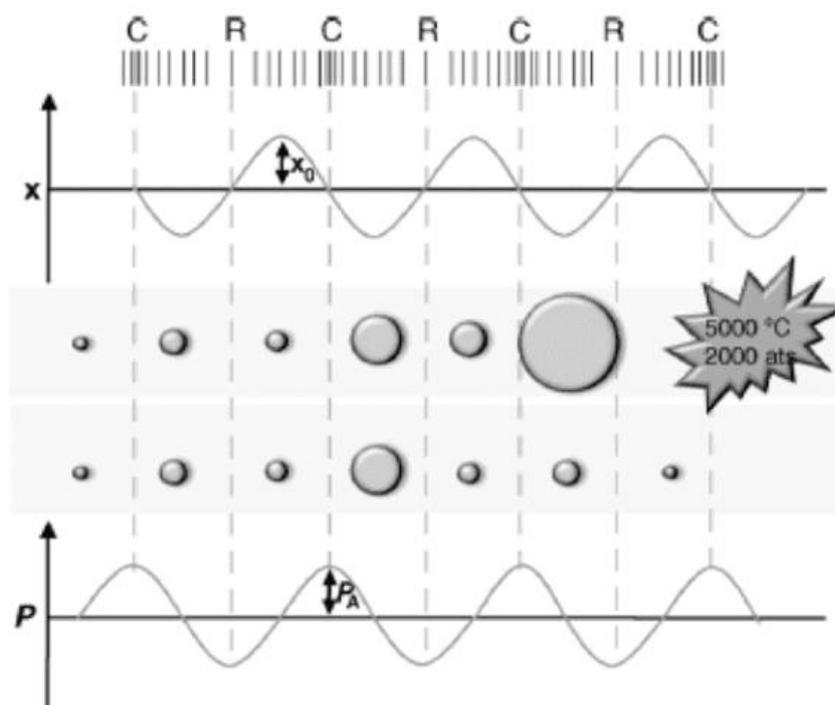
Otra de las grandes ventajas de este método y punto fuerte para su elección, es que se puede realizar tanto en húmedo como en seco; es decir, se puede aplicar sobre biomasa que no ha sufrido un proceso de secado o deshidratación previo, que es un procedimiento caro y que reduce la eficiencia energética del biodiésel, de manera que los beneficios económicos de la sonicación son aún mayores.

2.- Proceso de extracción de lípidos mediante ultrasonidos

Como se ha expuesto anteriormente, se opta por utilizar un método de extracción por ultrasonidos que no requiera de una etapa de secado de la biomasa previa, a fin de facilitar el proceso así como reducir los costes.

Para llevar a cabo la obtención de los lípidos celulares, se utilizará un equipo de ultrasonido (detallado más adelante) que trabaja con una frecuencia controlada, normalmente baja ya que se ha demostrado que causa una menor destrucción celular, que genera ondas acústicas. Estas ondas de sonido se propagan por el medio líquido, lo cual resulta en unos ciclos alternos de alta y baja presión. El ciclo de baja presión se genera cuando las partículas son golpeadas por el valle de la onda, originándose microburbujas de vacío en el medio líquido que rodean a las algas.

Estas burbujas van aumentando de tamaño hasta que la cresta de la onda golpea el líquido, empezando entonces el ciclo de alta presión que provoca que estas burbujas se rompan. Esto es el fenómeno de cavitación, representado en la *Figura A6.1*. Esta implosión de las burbujas hace que liberen su energía y causen grandes fuerzas hidrodinámicas de cizallas. Estas fuerzas cortantes pueden romper el material fibroso y celulósicos en partículas más finas y romper las paredes celulares de las microalgas, lo que provoca que el material intracelular se libere al medio. Además, durante la implosión, se alcanzan localmente temperaturas muy altas que pueden llegar a los 5.000K y presiones hasta las 2.000atm; produciendo también unos chorros de líquido que puede tener una velocidad de hasta 280m/s.



*Figura A6.1. Creación de burbujas de cavitación en función de las ondas de sonido (x) y la presión (P)
[Fuente: Sondas de sonicación frente a baños de ultrasonidos: una comparación de su eficiencia, artículo en la tienda online de Hielscher]*

Una vez descrito el fenómeno, se entiende que la frecuencia a la que trabaja el equipo de ultrasonidos sea baja; ya que con mayores frecuencias la distancia entre las crestas de la onda será más pequeñas de manera que se generan cambios de presión bruscos e instantáneos que producirán un daño celular mayor y mucho más brusco, pudiendo causar problemas en la liberación de los productos intracelulares o su mezcla.

2.1.- Ultrasonicación con solventes: método de Bligh & Dyer

Como se ha explicado anteriormente, el proceso de ultrasonicación de la biomasa microalgal generalmente se desarrolla en presencia de solventes químicos los cuales facilitan el proceso, haciendo que sea necesario menos tiempo para la extracción de los lípidos intracelulares.

En este caso, se decide trabajar siguiendo el método de Blight & Dyer en conjunto con el método de ultrasonidos, ya que esta ha sido probada como una combinación que presenta hasta un 72% de rendimiento en la extracción de compuestos celulares, puede ser utilizada en biomasa húmeda y es la técnica más extendida y estudiada. Este método es una técnica para la extracción de lípidos que trabaja con sustancias químicas (solventes) y se aplica a muestras húmedas; es decir, que ya contengan una cantidad de agua suficiente para realizar la mezcla. De manera general, este método se utiliza con muestras que tenga aproximadamente un 80% de contenido en agua, siendo el proceso meramente químico. Sin embargo; como en este caso particular, se combina con una extracción por ultrasonidos, el contenido de agua puede bajar hasta un 20% siempre y cuando la mezcla con los solventes se siga realizando en las mismas proporciones. En este método, los solventes utilizados son cloroformo y metanol, siendo su proporción aproximada, junto con el agua, 1:2:1 para C:M:A (v/v/v), en una proporción 1:3,75 (v/v) de muestra:solvente.

Si el proceso se llevara a cabo únicamente de manera química, esta mezcla debería dejarse en reposo durante bastantes horas hasta producirse la extracción de los lípidos celulares, los cuales se mezclarán con el cloroformo y se deberán separar las fases (generalmente agregando NaCl_2 a la mezcla) para poder recuperarlos. Debido a que en nuestro caso esta mezcla será tratada con ultrasonidos, se solucionan los dos puntos anteriores. Por un lado, la pequeña disminución en rendimiento que podría sufrir el método debido a la modificación de los solventes, se ve solventada por la utilización de ultrasonidos que también presentan una alta eficiencia en la extracción de productos celulares. Por otro lado, el tiempo necesario para que el proceso se lleve a cabo con totalidad se ve muy reducido, facilitando la operación y disminuyendo el coste del proceso. Una vez finalizada la operación, la mezcla resultante de solventes, compuestos celulares y restos sólidos celulares sin separar, serán transportados a la industria química/biotecnológica que finalizará el proceso de separación de los lípidos y su transesterificación para la obtención del biodiesel.

3.- Equipo de ultrasonidos

Al igual que ocurría con el equipo de centrifugación, para la instalación de un dispositivo ultrasónico se elige entre las amplias ofertas existentes en el mercado. En este caso, se trata de elegir un equipo que se adapte a las necesidades, es decir, útil para la sonicación con solventes y para tratar mezclas biológicas específicas microalgales, y cuyas características de operación sean convenientes.

Se decide trabajar con la marca alemana Hielscher, líder en el mercado en tecnología ultrasónica, la cual ofrece dispositivos tanto a escala industrial como para laboratorios. Lo cual, es un punto a favor ya que para el presente proyecto no se necesita un equipo con muy altas capacidades debido a que la cantidad de biomasa a tratar no es elevada. Se propone la compra e instalación del dispositivo UIP500hd (*Figura A6.1*) o similares como el más apropiado para nuestras características: ultrasonificación para lisis celular en presencia de solvente. El equipo trabaja a 500W, creando una onda de sonido de 20kHz de frecuencia muy adecuada para la ruptura y extracción celular, ajustable del 50 al 100% que puede procesar entre 0,25-2,00 l/min, ajustando la tasa real a cada proceso).

Presenta una pantalla táctil externa desde la cual se controlan los parámetros de operación más relevantes, como la amplitud, el tiempo de sonicación o residencia, la temperatura y la presión. Tiene un peso de 5,5kg y una huella superficial pequeña, por lo que no requiere mucho espacio para su instalación.



Figura A6.2. Dispositivo de ultrasonidos UIP500hd de Hielscher [Fuente: www.hielscher.com]

Anejo 7:
DIMENSIONAMIENTO DE LOS
DEPÓSITOS DE SOLVENTES

ÍNDICE DEL ANEJO 7: DIMENSIONAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS DE LOS SOLVENTES

1. Introducción	A7.1
2. Volumen de los depósitos	A7.2
3. Material de los depósitos	A7.3
4. Fichas técnicas de seguridad	A7.3

1.- Introducción

Como queda reflejado en el diagrama de flujo del proyecto y representado parcialmente en la *Figura A7.1*, se diseñarán dos depósitos en los cuales se encontrarán los solventes propuestos para el método de extracción de lípidos celulares de Bligh&Dyer: metanol (D-1) y cloroformo (D-2). De cada uno de los depósitos, sale una línea de conexión con el equipo de ultrasonidos, L-5 y L-6, que transportará, respectivamente, la cantidad de cada uno de los productos químicos que sea necesarios. Esta inyección se ejecutará de manera natural y en el propio equipo de ultrasonidos se mezclarán los solventes con las muestras.

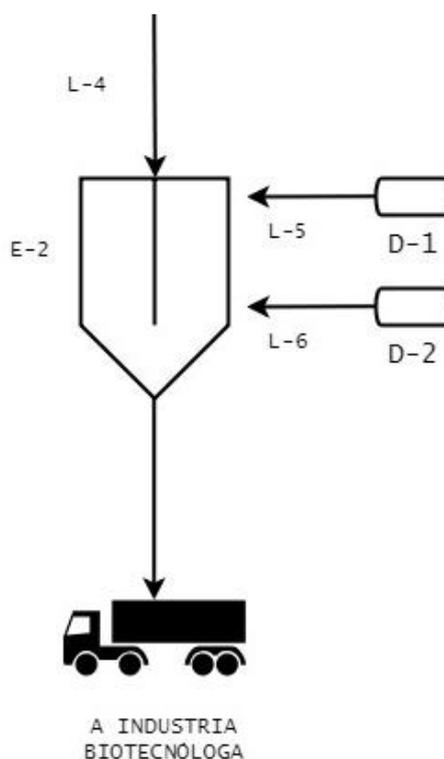


Figura A7.1. Disposición de los depósitos
[Fuente: elaboración propia]

En este apartado se desarrollan los cálculos de dimensionamiento de cada uno de los depósitos, fijando como pauta para asegurar que siempre se disponga del solvente químico necesario, la búsqueda de una capacidad igual al doble del volumen diario necesario.

Además, se establecerán los materiales ideales para la fabricación de estos depósitos debido a que se trata de solventes químicos que pueden causar desperfectos en materiales indebidos.

2.- Volumen de los depósitos

En el Anejo 10: Balance de materia, se mostrarán los cálculos de los volúmenes de metanol y cloroformo que, por correspondencia con las proporciones de solventes propuestas para realizar el método de Bligh&Dyer, 1:2:1 para C:M:A (cloroformo:metanol:agua), serán inyectados al equipo de ultrasonidos por las líneas L-5 y L-6:

Tabla A7.1. Corrientes volumétricas de los solventes

CORRIENTE 5		CORRIENTE 6	
Q metanol (m ³ /h)	0,0004	Q cloroformo (m ³ /h)	0,0002

Como se ha indicado anteriormente, estos compuestos se almacenan en dos depósitos, los cuales se pretenden diseñar con una capacidad del doble al volumen diario utilizado, por lo que ambos depósitos deberán ser rellenados cada dos días con estos productos químicos.

De esta manera, aunque suponga una frecuencia de vaciado – llenado ligeramente alta, se consigue disminuir los costes de inversión del proyecto en base a la menor dimensión de estos depósitos y un menor uso de sus materiales además de evitar altos volúmenes de compuestos, lo cual podría causar intoxicaciones, fugas o llegar a inflamarse ardiendo o explosionando.

Establecido un tiempo de trabajo de 8 horas diarias como se viene proponiendo en todo el proyecto y habiendo fijado una pauta de seguridad del doble de capacidad volumétrica diaria en cada uno de los depósitos se calculan las capacidades del D-1 y D-2 para metanol y cloroformo respectivamente, en la Ec. A7.1 y se resumen en la tabla posterior, *Tabla A7.2*:

$$\text{Caudal} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * \text{tiempo de trabajo (h)} * 2 \quad \text{Ec A7.1}$$

Tabla A7.2. Volumen de los depósitos

D – 1 METANOL		D – 2 CLOROFORMO	
m ³	0,0064	m ³	0,0032

3.- Material de los depósitos

Para el almacenamiento de metanol en pequeñas cantidades, los tanques o depósitos deben ser instalados en lugares frescos, secos y ventilados, sin incidencia directa de luz solar, siendo este compuesto estable químicamente en temperaturas y presiones normales; y se recomienda la presencia de una válvula de escape de vacío para controlar la presión en el interior. No se debe almacenar en contenedores de aluminio o plomo ya que causará corrosión a temperaturas ambientales; y otros materiales como el cobre o el zinc son atacados lentamente también. Se pueden emplear plásticos para su almacenamiento a corto plazo, pero no son recomendados para el almacenamiento de largo plazo debido a sus efectos de deterioro y el riesgo de contaminación. El material de más resistencia y más recomendado la construcción de tanques de almacenamiento de metanol y el que se propone utilizar en el presente proyecto es el acero de bajo carbono, siendo construido con unas soldaduras correctas.

Por su parte, el cloroformo debe almacenarse también en un lugar oscuro, fresco y seco, bien ventilado, a temperaturas inferiores a los 30°C. El cloroformo técnico debe almacenarse en contenedores de acero pero, al contrario que el metanol, este debe poseer un revestimiento de plomo de manera que se evite totalmente la posible entrada de humedad; materiales que serán empleados para el depósito diseñado en este proyecto. Otros revestimientos así como plásticos y caucho, sufren una alta corrosión en contacto con el cloroformo líquido.

Ambos depósitos deben poseer los carteles correspondientes a materiales nocivos y/o venenosos.

4.- Fichas técnicas de seguridad

Se incluyen, a continuación, las fichas técnicas de seguridad química para los solventes utilizados en el proceso: metanol y cloroformo. Estas fichas son de carácter internacional, cooperación entre el IPCS (*International Programme on Chemical Safety*) y la Comisión Europea, y han sido obtenidas del Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el trabajo (INSSBT).

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL		ICSC: 0057	
		Abril 2000	
Alcohol metílico		Carbinol	
CAS:	67-56-1	CH₄O / CH₃OH	
RTECS:	PC1400000	Masa molecular: 32.0	
NU:	1230		
CE Índice Anexo I:	603-001-00-X		
CE / EINECS:	200-659-6		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable. Ver Notas.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA EXPOSICION DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
Inhalación	Tos. vértigo. Dolor de cabeza. Náuseas. Debilidad. Alteraciones de la vista.	Ventilación. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Jadeo. Vómitos. Convulsiones. Pérdida del conocimiento (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!). Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Eliminar el residuo con agua abundante. Eliminar vapor con agua pulverizada. Traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: F, T R: 11-23/24/25-39/23/24/25; S: (1/2-)7-16-36/37-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Riesgos Subsidiarios de las NU: 6.1; Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1230. Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco.	
IPCS International Programme on Chemical Safety	  		 
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2000			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL**ICSC: 0057**

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido incoloro, de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS:

El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.

PELIGROS QUÍMICOS:

Reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 200 ppm como TWA, 250 ppm como STEL; (piel); BEI establecido (ACGIH 2004).

MAK: Riesgo para el embarazo: grupo (DFG 2004).

LEP UE: 200 ppm; 260 mg/m³ como TWA (piel) como TWA (UE 2006).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a pérdida del conocimiento. La exposición puede producir ceguera y muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar sistema nervioso central, dando lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 65 °C

Punto de fusión: -98 °C

Densidad relativa (agua = 1): 0.79

Solubilidad en agua: miscible

Presión de vapor, kPa a 20 °C: 12.3

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.1

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1.01

Punto de inflamación: 12 °C c.c.

Temperatura de autoignición: 464 °C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 5.5-44

Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.82/-0.66

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

Arde con llama azulada. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2006: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 200 ppm; 266 mg/m³

Notas: vía dérmica.

VLB: 15 mg/L en orina. Notas F, I.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

CLOROFORMO

ICSC: 0027
Abril 2000

CAS: 67-66-3 Triclorometano
 RTECS: FS9100000 Tricloruro de metilo
 NU: 1888 Tricloruro de formilo
 CE Índice Anexo I: 602-006-00-4 CHCl₃
 CE / EINECS: 200-663-8 Masa molecular: 119.4



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Véanse Notas. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: usar agente de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡HIGIENE ESTRICTA! ¡EVITAR LA EXPOSICIÓN DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
Inhalación	Tos. Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Piel seca.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Vómitos. (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber agua abundante. Reposo. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: Xn R: 22-38-40-48/20/22 S: (2-)36/37 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: III
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-61S1888 Código NFPA: H 2; F 0; R 0;	Separado de alimentos y piensos y materiales incompatibles (Véanse Peligros Químicos). Ventilación a ras del suelo.

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005



CLOROFORMO

ICSC: 0027

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO

Líquido incoloro volátil, de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS

El vapor es más denso que el aire .

PELIGROS QUÍMICOS

En contacto con superficies calientes o con llamas esta sustancia se descompone formando humos tóxicos y corrosivos (cloruro de hidrógeno ICSC0163, fosgeno ICSC0007 y vapores de cloro ICSC0126). Reacciona violentamente con bases fuertes, oxidantes fuertes, algunos metales, como aluminio, magnesio y zinc, originando peligro de incendio y explosión. Ataca plástico, caucho y revestimientos.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

TLV (como TWA): 10 ppm; A3 (ACGIH 2004).
MAK: 0.5 ppm; 2.5 mg/m³; Carcinógeno categoría 4, H (absorción dérmica), Categoría de limitación de pico: II(2), Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).

VÍAS DE EXPOSICIÓN

La sustancia se puede absorber por inhalación a través de la piel y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN

Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN

La sustancia irrita los ojos. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, hígado y riñón. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA

El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al hígado y al riñón. Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 62°C
Punto de fusión: -64°C
Densidad relativa (agua = 1): 1,48
Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0,8
Presión de vapor, kPa a 20°C: 21,2
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,12

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,7
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1,97

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.

NOTAS

Se puede volver combustible por la adición de pequeñas cantidades de una sustancia inflamable o por el aumento del contenido de oxígeno en el aire. El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. La alerta por el olor es insuficiente. NO utilizar cerca de un fuego, una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 2 ppm; 10 mg/m³

Notas: vía dérmica. Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH. Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.

NOTA LEGAL

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Anejo 8:

BOMBAS Y TUBERÍAS

ÍNDICE DEL ANEJO 8: TUBERÍAS Y BOMBAS

1.- Introducción	A8.1
2.- Red de tuberías	A8.2
3.- Bombeo	A8.6

1.- Introducción

En el presente Anejo se realizan los cálculos pertinentes para el dimensionamiento de las tuberías y bombas necesarias en el sistema para conducir el flujo a través de su trayectoria.

Se seleccionará un diseño de conductos con la intención de minimizar la energía de bombeo y traslado así como los gastos energéticos que supongan. Para afianzar estos dos puntos anteriores, se tendrán en cuenta una serie de parámetros importantes en el diseño de la red de tuberías, como son:

- Acotar la longitud de las tuberías y conexiones todo lo posible, garantizando la conducción apropiada.
- Mantener el diámetro de las tuberías constante siempre y cuando sea posible.
- Utilizar los accesorios correctos en el menor número necesario y con sistema sencillo.
- Seleccionar el material más adecuado tanto para las tuberías y accesorios como para la bomba instalada.

En la *Figura A8.1.* se incorpora nuevamente el diagrama de flujo del proyecto para tener la referencia de la conexiones por tuberías y la bomba que serán necesarias diseñar e instalar.

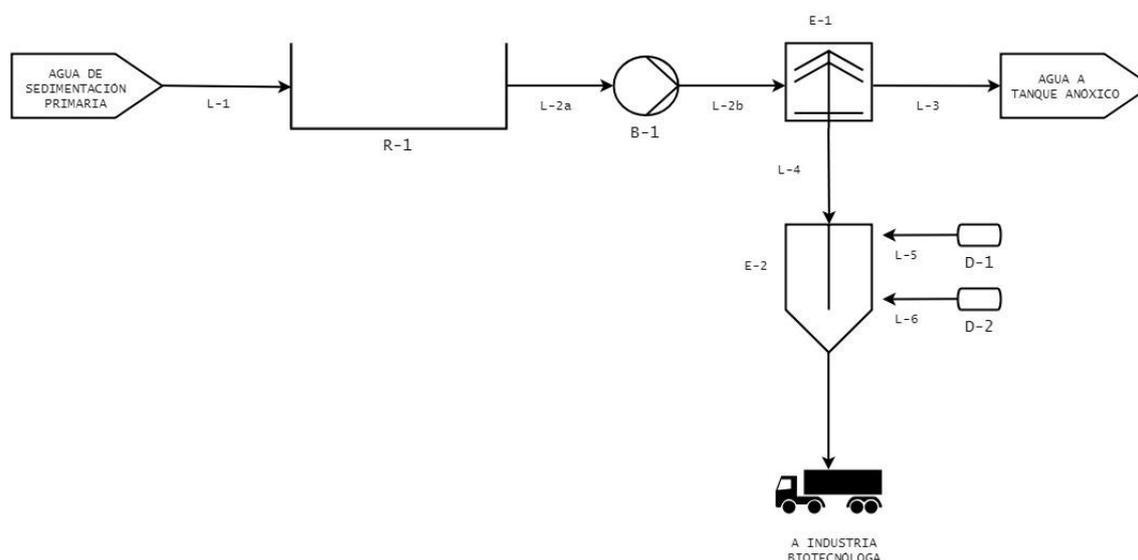


Figura A8.1. Diagrama de flujo
[Fuente: elaboración propia]

2.- Red de tuberías

El material para la mayor parte de la red de tuberías será el PVC excepto para las líneas L – 5 y L – 6 que conducen metanol y cloroformo que serán de acero al carbono para evitar fenómenos de corrosión; ambos son materiales económicos y funcionales, aptos para cubrir las necesidades de este proyecto.

Para comenzar el cálculo de cada una de las tuberías que se instalará, se comienza determinando la sección de la misma. Para ello se calcula el diámetro interior o nominal adecuado siguiendo la *Ec. A8.1* estimando una velocidad de circulación de 1m/s de manera general para flujos líquidos; y, considerando la sección de la tubería de forma circular, se deduce la *Ec. A8.2*:

$$Q = v * s \quad \text{Ec. A8.1}$$

Donde: Q = caudal volumétrico, m³/s
 v = velocidad lineal estimada, 1 m/s
 s = sección de la tubería, m²

$$s = \frac{\pi}{4} D^2 \quad \text{Ec. A8.2}$$

Donde: D = diámetro de la tubería, m

Relacionando las ecuaciones *A8.1* y *A8.2*, se obtiene el diámetro óptimo de tubería:

$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*v}} \quad \text{Ec. A8.3}$$

Una vez calculado el diámetro interior que debería tener cada una de las tuberías de las líneas de conexión, se elige la dimensión normalizada más próxima de las representadas en la *Tabla A8.1*. y se calculará la velocidad real de circulación por dicho tramo de tubería siguiendo la *Ec A8.4*.

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2} \quad \text{Ec. A8.4}$$

Tabla A8.1. Diámetros comerciales de tubería

DIÁMETRO NOMINAL		DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	
Pulgadas	mm	PVC	Acero
3/8"	10	16	17,1
1/2"	15	20	21,3
3/4"	20	25	26,7
1"	25	32	33,4
1 1/4"	32	40	42,2
1 1/2"	40	50	48,3
2"	50	63	60,3
2 1/2"	65	75	76,1
3"	80	90	88,4
4"	100	110	114,3
5"	125	140	139,7
6"	150	160	168,3
7"	175	180	193,7
8"	200	225	219,1
10"	250	280	273,1
12"	300	315	323,9
14"	350	355	355,6
16"	400	400	406,4
18"	450	450	457,2
20"	500	500	508
24"	600	630	609,6
28"	700	710	711,2
32"	800	800	812,8
36"	900	900	914,4
40"	1000	1000	1016

Conocida la sección de cada una de las tuberías, se calcula la pérdida de carga por fricción en las tuberías mediante la ecuación de Darcy – Weisbach, *Ec. A8.5.*, ya que se tratan de tuberías de diámetro constante y trayectorias rectas.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. A8.5}$$

Donde: h_f = pérdida de carga debida a la fricción, m
 f = factor de fricción de Darcy, adimensional
 L = longitud de la tubería, m
 D = diámetro de la tubería, m
 v = velocidad del fluido, m/s
 g = aceleración de la gravedad, 9,8 m/s²

Este factor de fricción f es adimensional y varía con los parámetros de la tubería y el flujo, puede ser calculado siguiendo varias fórmulas pero en este apartado se utilizará la fórmula de Colebrook – White, *Ec. A8.6*, pues es la más utilizada para flujos laminares a turbulentos y turbulento.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\frac{k}{D}}{3,71} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ec. A8.6}$$

Donde: k/D = rugosidad relativa, mm (también puede expresarse como ϵ – depende del tipo de material)
 Re = número de Reynolds, adimensional

Esta pérdida de carga y factor de fricción de tubería, se ven modificadas cuando se inserta en dicho tramo de tubería algún tipo de accesorio, véase codo de 90°, tes y/o válvulas.

En nuestro caso, se instalará una válvula a la salida del reactor, por lo tanto en la línea L – 2a, y otra en cada una de las tuberías de salida de los depósitos D – 1 y D – 2, es decir, las líneas L – 5 y L – 6, así como un codo de 90° en la línea L – 2b que conduce hacia una zona superior el flujo desde la bomba hasta la centrífuga situada a mayor altura.

Para calcular estas pérdidas, se utilizan valores establecidos que relacionan cada accesorio con una longitud equivalente de tubería de tramo recto, de manera que les corresponde un múltiplo del diámetro interno de la tubería. En la tabla A8.2 se recogen los datos de las líneas de conexión determinando las características de cada una de las tuberías que se debe instalar.

Como se ha indicado al principio del Anejo, las tuberías de las líneas L – 1, L – 2a, L – 2b, L – 3 y L – 4 serán de PVC, mientras que las de las líneas L – 5 y L – 6 serán de acero. La línea L – 4 pertenece a la tubería que transportará la pasta biológica a la salida de la centrífuga (salida a una altura de 35 cm) por lo que su cálculo no se puede establecer siguiendo las anteriores ecuaciones a ser un material que no fluye con facilidad con dificultad de movimiento; por lo que se sobredimensiona a fin de evitar problemas de conducción.

Tabla A8.2. Diseño de la red de tuberías

	LÍNEA L – 1	LÍNEA L – 2a	LÍNEA L – 2b	LÍNEA L – 3	LÍNEA L – 4	LÍNEA L – 5	LÍNEA L – 6
Q (m ³ /s)	0,0202	0,0025	0,0025	0,0024	-	1,1·10 ⁻⁷	5,5·10 ⁻⁸
ρ (kg/m ³)	1020	1100	1100	1020	-	792	1483
μ (kg/m·s)	0,001	0,002	0,002	0,001	-	0,00052	0,000563
D calculado (m)	0,16	0,056	0,056	0,056	-	0,00034	0,00026
D nominal (m)	0,175	0,065	0,065	0,065	0,08	0,010	0,010
V real (m/s)	0,84	0,75	0,75	0,72	-	0,0014	0,0007
Longitud (m)	3,00	2,00	1,00	3,00	0,35	0,50	0,50
Diferencia de altura (m)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,35	0,00	0,00
Válvula (ud.)	0	1	0	0	0	1	1
Codo 90° (ud.)	0	0	1	0	0	0	0
Longitud equivalente (m)	0,00	7,60	1,80	0,00	0,00	1,20	1,20
Rugosidad relativa (mm)	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,06	0,06
Re (adimensional)	1499400	268125	268125	49725	-	21,32	184,38
f (adimensional)	0,03597	0,03222	0,02989	0,02825	-	0,02701	0,02603
Pérdida de carga (m.c.a)	0,01	0,02	0,01	0,03	-	0,00	0,00

3.- Bombeo

En el presente proyecto de modificación de la EDAR de Lerma con instalación de fotobiorreactor, centrífuga y equipo de ultrasonidos; se propone un diseño que incluye una sola bomba de líquido durante el recorrido del flujo. Esta bomba se inserta en la corriente L – 2a de salida del reactor HRAP *raceway*, impulsando el flujo hacia la centrífuga por la línea L – 2b. La necesidad de esta bomba recae en que la entrada del flujo a la centrífuga se realiza por la parte superior de esta, situada a 1 m de altura; por lo tanto, el flujo necesita una fuerza impulsora que incremente su energía mecánica para vencer esta diferencia de altura. Para la elección del tipo de bomba que se instalará se deben tener en cuenta algunos criterios:

- Tipo de líquido que se va a impulsar y características como densidad, viscosidad, posibles propiedades corrosivas, etc.
- Condiciones de bombeo tales como caudal, presión de entrada y salida de la bomba, etc.
- La presencia de sólidos, como en este caso, que puede acelerar la erosión del material o depositarse en recovecos de la bomba; por lo que la bomba deberá tener dimensiones adecuadas procurando que no tenga cavidades muertas.

Se decide trabajar con una bomba centrífuga. Este tipo de bombas funcionan por intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido; es decir, que se aplica hidrodinámica y el flujo del fluido es continuo. En las bombas radiales o centrífugas el líquido fluye por el interior con una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor: entra por la zona de aspiración a la bomba axialmente y, en el centro de rotación del propulsor, se distribuye de manera radial entre las paletas y fluye por los canales creados por estas hasta que se recolecta en la cámara espiral pasando a la descarga de la bomba. Es decir, el líquido recibe la energía para su movimiento por la acción de la fuerza centrífuga que le otorga un disco giratorio a gran velocidad. Son bombas muy versátiles, con un diseño sencillo posible en una amplia gama de materiales, y un modo de operación y mantenimiento relativamente fáciles, además de tener un precio de coste bajo. No poseen válvulas y trabajan a gran velocidad posibilitando un menor tamaño. Otro gran punto a favor es su fácil operación con líquidos que contienen elevadas proporciones de sólidos en suspensión, lo cual puede ocurrir en nuestro caso.

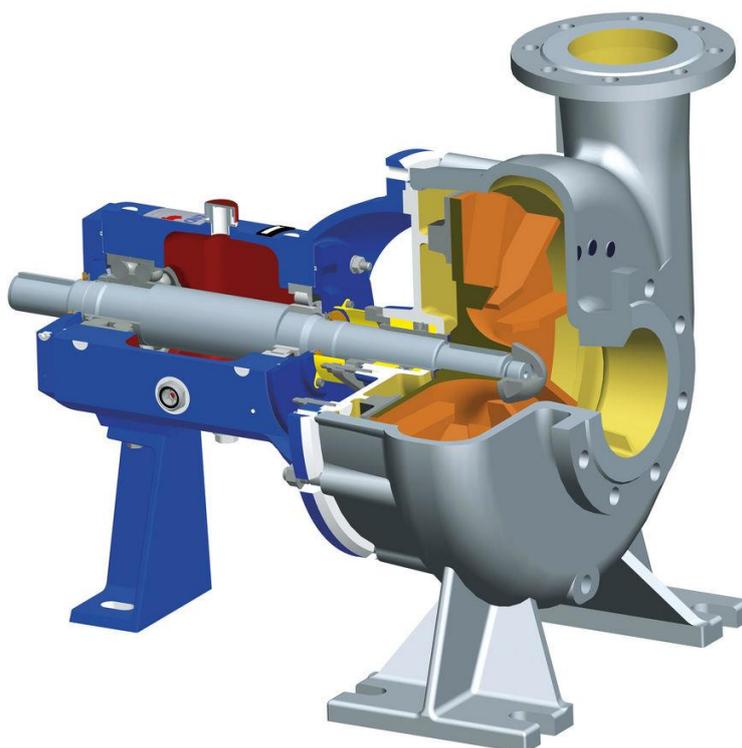


Figura A8.1. Esquema de bomba centrífuga [Fuente: Apuntes de la asignatura "Procedimientos de construcción", Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia, por Víctor Yepes Piqueras]

Antes de abordar los cálculos necesarios para calcular la potencia de la bomba necesaria para elevar el agua los 1 m de diferencia de altura, se recuerda que el caudal que impulsa es relativamente bajo por lo cual no será necesaria la instalación de una gran bomba. Se utilizarán las ecuaciones A8.7, A8.8 y A8.9 para el cálculo de este dato, considerando las presiones en ambas tuberías (la de aspiración y la de impulsión) equivalentes, una eficiencia de la bomba del 80% y con los datos obtenidos en el apartado anterior relativos a las líneas 2a y 2b implicadas en el bombeo.

$$P_t = \rho * g * Q * h \quad \text{Ec. A8.7}$$

Donde: P_t = potencia de la bomba, W
 ρ = densidad del flujo, kg/m³
 g = aceleración de la gravedad, 9,81m/s²
 h = altura dinámica de la bomba

$$h = \Delta H + (P_2 - P_1) + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} \quad \text{Ec. A8.8}$$

Donde: ΔH = diferencia de altura que debe asumir la bomba, m
 P = presión de circulación, m (psi)
 v = velocidad de circulación, m/s

$$P_r = \frac{P_t}{R} \quad \text{Ec. A8.9}$$

Donde: P_r = potencia real, W
 R = rendimiento, 80%

Introduciendo los datos correspondientes en cada una de las operaciones, obtenemos que la potencia real necesaria en la bomba es de 33,69 W (0,05 CV) para que se consiga una potencia teórica de 26,95 W (0,04 CV) y conseguir elevar el flujo de agua hacia la centrífuga.

Al igual que con la centrífuga y el equipo de ultrasonido, se propone, a continuación, una bomba disponible en el mercado que se adapte a las necesidades del proyecto y con unas características lo más próximas a las calculadas. La potencia de nuestra bomba es muy pequeña por lo que se considera la utilización de una bomba de 0,50 CV (1/2HP) y se elige trabajar con el modelo ECM 050 de la marca Vulcano o similares, *Figura A8.2*.



*Figura A8.2. Bomba centrífuga modelo ECM 050 de Vulcano
 [Fuente: www.vulcano-sa.com]*

Anejo 9:
INSTRUMENTACIÓN Y
CONTROL

ÍNDICE DEL ANEJO 9: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

1.- Introducción.....	A9.1
2. Control del proceso	A9.1
3. Diagrama de instrumentación.....	A9.2

1.- Introducción

Todos los nuevos procesos que se llevarán a cabo en los sistemas diseñados en el marco de este proyecto deben ser controlados minuciosamente, a fin de que se desarrollen de manera correcta permitiendo así alcanzar el objetivo esperado sin problemas.

Esto implica que se deben controlar diversos puntos durante el flujo de operación, especialmente en las entradas y salidas de cada uno de los equipos, manteniendo el sistema en estado estacionario, en las condiciones óptimas para el desarrollo del proceso, verificando el adecuado funcionamiento de los equipos y evitando cualquier posible riesgo en la planta. En este apartado se propondrán los equipos instrumentación que deberán ser instalados en cada uno de los equipos y que deberán ser ajustados a los parámetros y las variables de operación de estos, permitiendo una estrategia de control sencilla, minimizando la complejidad y el coste de los sistemas automáticos de control.

2.- Control del proceso

Reactor HRAP *raceway*:

Para el control en la fase del fotobiorreactor del cultivo biológico se plantea una estrategia de control que permita conocer las posibles variaciones del nivel de agua en el estanque, así como alarmas que se activen ante niveles bajos de pH o de oxígeno disuelto. Aunque no se actuará de manera directa sobre estas variables del cultivo, es necesario su conocimiento para realizar un seguimiento adecuado de los parámetros de desarrollo de las microalgas.

Además, a la entrada del reactor, en la línea 1, se instalarán sensores de temperatura, presión y caudal del flujo; ya la salida, en la línea 2a, un sensor de caudal así como una válvula de control automática de cierre de tubería que permita la salida del flujo en las horas de trabajo establecidas.

Bomba:

Tanto para la entrada como para la salida de la bomba se propone la utilización de los sensores de presión y de caudal para controlar el flujo que será impulsado por esta, considerando los posibles cambios en temperatura del flujo inexistentes o lo suficientemente bajos como para no implicar ningún riesgo debido a que el recorrido del flujo no es demasiado y a que la potencia de la bomba es tan baja que no produce un recalentamiento del motor que pueda aumentar la temperatura del líquido a su paso.

Centrífuga:

En la entrada de la centrífuga se instalarán sensores de presión, temperatura y caudal de flujo. Para la salida del equipo por la línea 3 que lleva el flujo clarificado al tratamiento terciario de la planta, se controlará de igual manera el caudal de paso por la tubería. La salida por la línea 4 no llevará controles puesto que se trata de una pasta biológica con flujo discontinuo e irregular.

Equipo de ultrasonidos:

La entrada de la pasta biológica al sistema de ultrasonicación, al igual que en su salida de la centrífuga, no llevará sistema de control. Sin embargo, las líneas 5 y 6 correspondientes a los flujos de metanol y cloroformo respectivamente, llevarán instaladas válvulas de control automáticas de cierre con apertura en las horas determinadas de trabajo, además de sensores de presión y caudal de variables muy específicas debido al bajo tránsito de estos. Por otro lado, los depósitos 1 y 2 tendrán añadidos sistemas de control de nivel y sensores altamente sensibles de temperatura debido a que contienen materiales químicos que pueden resultar peligrosos en ciertas variaciones de temperatura inesperadas provocando riesgos innecesarios.

3.- Diagrama de instrumentación

En la *Figura A9.1* se muestra el diagrama de instrumentación propuesta en el apartado anterior, situando cada uno de los sensores y válvulas en su disposición. En la *Tabla A9.1* se encuentran las nomenclaturas utilizadas en dicho diagrama.

Tabla A9.1. Nomenclatura de sensores y válvulas

INSTRUMENTOS DE CONTROL		(ud. totales)
TT	Sensor/transmisor de temperatura	4
PT	Sensor/transmisor de presión	6
FT	Sensor/transmisor de flujo o caudal	8
LT	Sensor/transmisor de nivel	3
YP	Sensor/transmisor de pH	1
OP	Sensor/transmisor de oxígeno disuelto	1
	Válvula de control automática	3

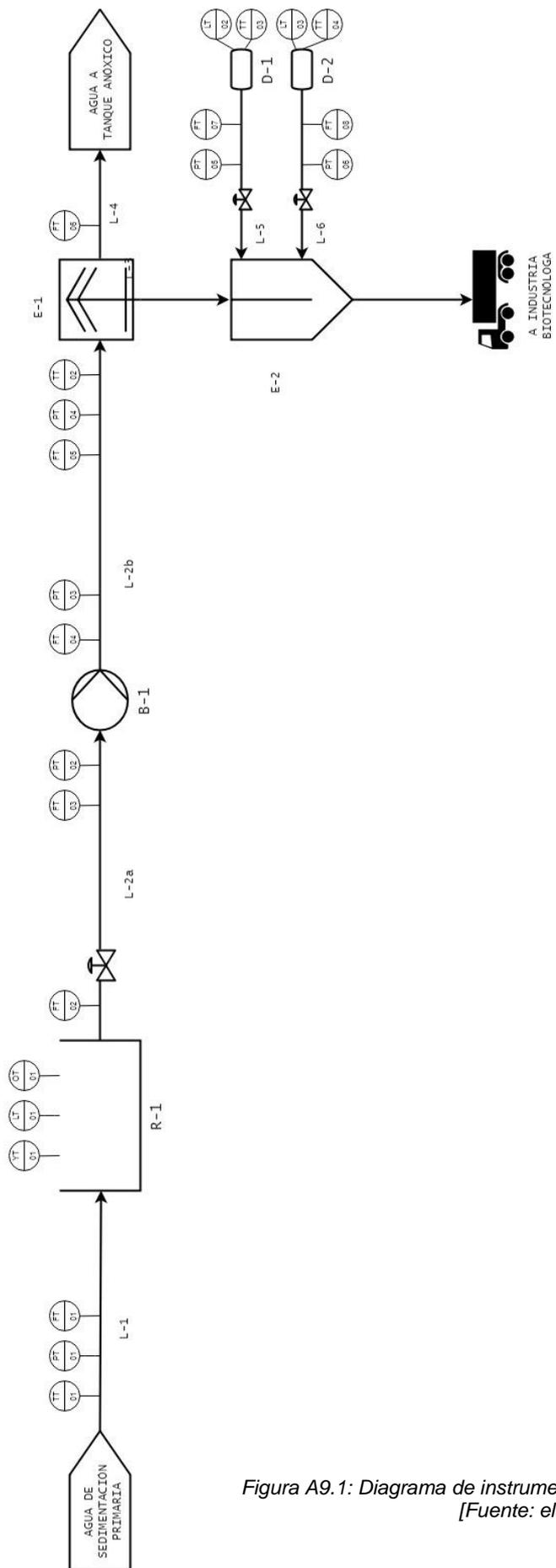


Figura A9.1: Diagrama de instrumentación (presente también en el Plano 5)
[Fuente: elaboración propia]

Anejo 10:
BALANCES DE MATERIA Y
ENERGIA

ÍNDICE DEL ANEJO 10: BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

1. Introducción	A10.1
2. Balance de materia	A10.2
2.1. Balance al reactor HRAP <i>raceway</i>	A10.2
2.2 Balance a la centrífuga	A10.8
2.3. Balance al equipo de ultrasonidos	A10.10
2.4. Obtención total de lípidos microalgales	A10.11
3. Balance de energía	A10.12

1.- Introducción

Dentro de los objetivos a conseguir con el presente proyecto, se encuentran la producción de biomasa microalgal para la obtención de sus lípidos celulares y el tratamiento y clarificación del agua que será empleada como medio de cultivo para estas. Es por ello, que el balance de materia del fluido en su recorrido por el nuevo sistema que se implantará modificando así el existente, es un punto fundamental para conocer el rendimiento y la eficacia de la modificación para justificar su implantación y valorar las ventajas.

La modificación de la EDAR de Lerma (Burgos) implica cambios en el recorrido de efluente a partir de la sedimentación secundaria. En dicho momento el agua a tratar tendrá ciertas características físico-químicas que serán conocidas por los datos de la planta EDAR actual. A partir de ahí, en el fotobiorreactor a instalar, se cultivará una cepa de microalgas en conjunto de bacterias, por lo cual es necesario calcular la cantidad de ambos microorganismos que debe contener el cultivo según el objetivo buscado así como valorar la eliminación de nutrientes y metales pesados que se llevará a cabo de manera biológica. Seguidamente, se clarificará el agua que contiene estas microalgas, debiendo conocerse la cantidad de agua que pasará seguidamente al tanque anóxico ya presente en la planta, así como la composición de la pasta de biomasa que se conducirá a ultrasonidos. En ese momento se adiciona metanol y cloroformo, formándose una mezcla solvente – biomasa que se debe caracterizar ya que será la que sea tratada ultrasónicamente y posteriormente enviada a la industria biotecnológica para su separación y transesterificación de los lípidos microalgales.

En este apartado entonces se caracterizarán las distintas corrientes en base a la materia que contengan antes y después de ser tratadas en cada uno de los equipos a instalar. A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso, *Figura A10.1*, como referencia para situar cada equipo y corriente que serán caracterizados; y se resumen su notación en la *Tabla A10.1*.

Se calculará además la energía consumida diariamente por los equipos eléctricos instalados. Estos equipos incluyen el agitador de paletas del reactor, la centrífuga para separar las microalgas del líquido, el equipo de ultrasonidos y la bomba, así como el coste anual que suponen.

Tabla A10.1. Notación de los equipos y líneas del proceso (diagrama de flujo)

EQUIPOS		LÍNEAS DE CONEXIÓN Y CORRIENTES		
R-1	Reactor HRAP <i>raceway</i>	L-1	Efluente sedimentado al reactor	Corriente 1
B-1	Bomba de reactor a centrífuga	L-2a	Salida del reactor, aspiración B-1	Corriente 2a
E-1	Equipo de centrifugación	L-2b	Salida del reactor, impulsión B-1	Corriente 2b
E-2	Equipo de ultrasonidos	L-3	Agua clarificada	Corriente 3
D-1	Depósito de metanol	L-4	Pasta de biomasa húmeda	Corriente 4
D-2	Depósito de cloroformo	L-5	Metanol	Corriente 5
		L-6	Cloroformo	Corriente 6

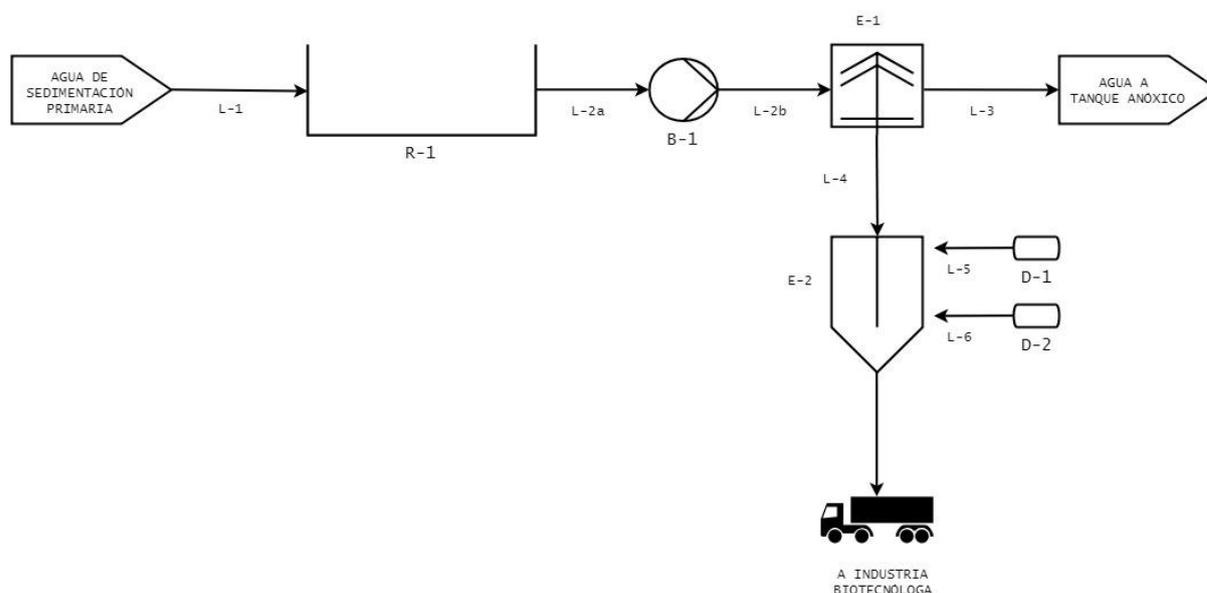


Figura A10.1. Diagrama de flujo del proceso [Fuente: elaboración propia]

2.- Balance de materia

2.1.- Balance al reactor HRAP *raceway*

Como se ha indicado anteriormente, la caracterización del efluente que llega al reactor que se quiere diseñar e instalar (corriente 1) se realiza mediante los datos de salida del sedimentador primario existente, proporcionados por la EDAR y recogidos en la *Tabla A10.2*.

El reactor HRAP se instalará con el objetivo de realizar en él un cultivo mixto de microalgas junto con bacterias de manera que el ciclo metabólico y fisiológico de ambas se combine, proporcionando las bacterias el CO₂ necesario para que las microalgas realicen sus procesos vitales. De esta manera, se consigue una mayor productividad en un periodo de tiempo más corto, además de una producción de lípidos más alta por parte de las células algales.

Tabla A10.2. Características de la corriente 1

CARACTERÍSTICAS DE FLUJO	
DQO (g/l)	36,22
DBO (g/l)	11,65
N (g/l)	5,44
NH ₄ (g/l)	1,55
NO ₃ (g/l)	164,5
PO ₄ (g/l)	1,56
Q (m ³ /día)	72,64
ρ (kg/m ³)	1020

El cultivo combinado de bacterias y microalgas sigue el ciclo que se ilustra en la *Figura A10.2*. De esta manera, se hace necesario conocer el contenido tanto de microalgas como de bacterias en el reactor que serán necesarias tanto para llegar a la productividad esperada como para cerrar el ciclo respectivamente. Como objeto de este proyecto, se pretende llegar a una productividad de 70t/año trabajando a 300 días anuales.

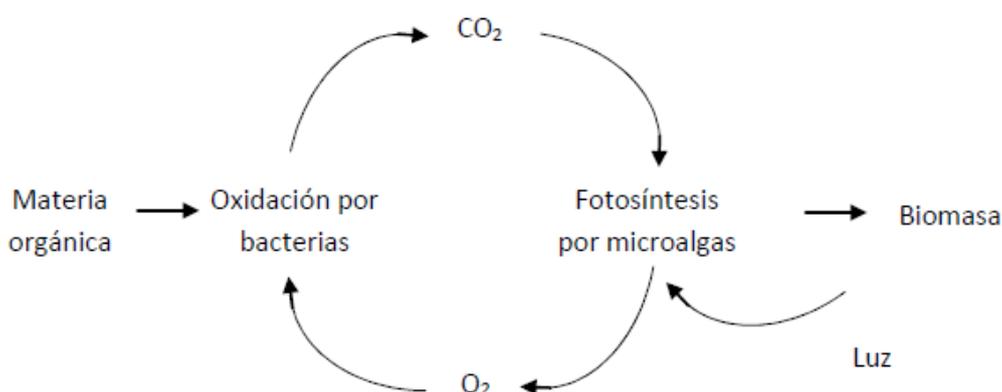


Figura A10.2. Ciclo de cultivo combinado bacterias – microalgas [Fuente: Burgoa Francisco, F. 2015. Trabajo Fin de Grado: Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con fotobiorreactor de microalgas. Universidad de Valladolid.]

Con el volumen del reactor calculado en el Anejo 3, 302,5m³, se puede calcular mediante la *Ec. A10.1* la concentración celular de biomasa algal esperada diariamente, obteniendo una concentración de biomasa microalgal de 711,35 g/ m³ · día

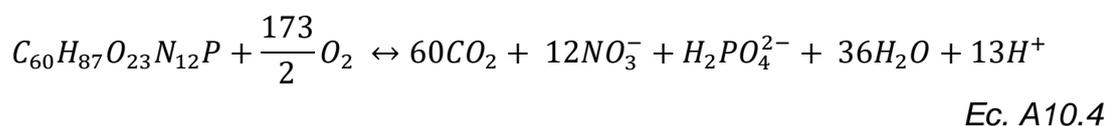
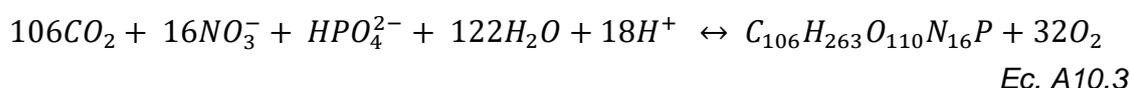
$$\frac{\text{productividad} \left(\frac{t}{\text{año}} \right)}{\text{volumen productivo} (m^3)} = \text{productividad} \left(\frac{t}{\text{año} * m^3} \right) = \text{productividad} \left(\frac{g}{m^3 * \text{día}} \right)$$

Ec. A10.1

Conocida la necesidad de CO₂ de la especie de microalga *Scenedesmus obliquus*: 1,85g de CO₂/g de biomasa, se calcula el dióxido de carbono diario necesario para su desarrollo según la Ec. A10.2, resultando 1316 g CO₂/m³ · día

$$\frac{g \text{ CO}_2}{g \text{ biomasa}} * \frac{g \text{ biomasa}}{m^3 \text{ día}} = \frac{g \text{ CO}_2}{m^3 \text{ día}} \quad \text{Ec. A10.2}$$

Para conocer la cantidad de bacterias en el cultivo necesarias para proporcionar todo el dióxido de carbono necesario para el metabolismo celular de las algas, se recurre a las fórmulas químicas desarrolladas por Stumm y Morgan¹ en 1996: la Ec. A9.3 representa el balance de respiración y fotosíntesis para la creación de biomasa microalgal; y la Ec. A9.4, la respiración bacteriana.



De estas ecuaciones se obtienen las fórmulas y pesos moleculares de ambos microorganismos, datos presentados en la *Tabla A10.3*. Conocido el peso molecular del CO₂, 44g, e introduciendo en la Ec. A10.4 los datos de la *Tabla A10.3*, se establece que 1373 g bacterias, producirán 2640 g de CO₂; por lo que para conseguir los 1316 g de CO₂ necesarios, se necesitarán un total de 684,42 g de bacterias/m³·día. Así, se concluye presentando en la *Tabla A10.4* la concentración de microorganismos necesaria para que el ciclo de dióxido de carbono quede cerrado, sin necesidad de inyectar más al proceso y sin producir excedentes de dicho gas que serían emitidos a la atmósfera, y que se cumplan los objetivos de cosecha de biomasa microalgal.

Tabla A10.3. Información molecular de microalgas y bacterias

	Fórmula molecular	Peso molecular
MICROALGAS	$\text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}$	3549 g
BACTERIAS	$\text{C}_{60}\text{H}_{87}\text{O}_{23}\text{N}_{12}\text{P}$	1373 g

Tabla A10.4. Concentraciones de microorganismos en el cultivo

	g/m ³ ·día	g/día
MICROALGAS	711,35	215183,38
BACTERIAS	684,42	207037,05

¹Stumm, W. and Morgan, J.J. 1996. *Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3rd Edition, John Wiley&Sons, Inc., New York

Con los datos anteriores y la densidad del flujo que llega al reactor (*Tabla A10.2*), se puede calcular el porcentaje de concentración de biomasa de microalgas, de bacterias y de microorganismos totales a partir de la ecuación *A10.5*, introduciendo los datos correspondientes para cada una de las variables.

$$\text{Concentración de biomasa en peso} = \frac{\text{kg biomasa}}{\text{kg flujo total}} \quad \text{Ec. A10.5}$$

Se obtiene una concentración de 0,0697% en peso de microalgas, una concentración de 0,0671% en peso de bacterias, y una concentración de 0,1368% en peso de microorganismos totales en el flujo.

Para realizar el balance de masa al fotobiorreactor y calcular las características químicas de la corriente 2a, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Al tratarse de un cultivo combinado de microalgas y bacterias, la eliminación de nutrientes por parte de estas últimas no se tiene en cuenta al ser mínimo en comparación al producido por las microalgas; esto se debe a que éstas utilizan muchos más nutrientes para sus procesos metabólicos por lo que realizan una mayor absorción de estos, además de tener un consumo de nitrógeno y fósforo en exceso, proceso llamado "*luxuryuptake*".
2. Los parámetros de eliminación de DQO, DBO, NH₄, NO₃ y PO₄ utilizados para los cálculos pertinentes, se obtienen de la tabla presente en la *Figura A10.3* más adelante. En dicha tabla, se muestran también los parámetros de eliminación de metales pesados por la especie utilizada para nuestro cultivo. Estos datos son también de interés pero no se realizan cálculos debido a que no se poseen datos de concentraciones de estos metales en el flujo de agua que llega al reactor.
3. Se produce volatilización de nitrógeno en forma de amoníaco gaseoso en el reactor HRAP, de manera que se elimina por completo la parte que no es asimilada por los microorganismos: un 90% del N es eliminado, de manera estimada.
4. El caudal de salida del fotobiorreactor, correspondiente a la corriente 2a se establece igual al de entrada, de manera que el volumen de fluido en el reactor sea siempre el mismo: el correspondiente a 4 días (tiempo de residencia). Sin embargo, el funcionamiento tanto de la centrífuga como del dispositivo de ultrasonido será de 8h funcionales diarias, por lo que este caudal se expresará en horas funcionales diarias.

Todos los datos obtenidos del balance al fotobiorreactor se expresan en la *Tabla A10.5* a continuación. El cultivo de microalgas y bacterias se produce en el reactor, por lo tanto no existen esas concentraciones en la corriente 1 pero se desarrollan en ellos; por lo cual se han añadido estos datos en la tabla a continuación, marcados en color verde, para facilitar la comparación de datos.

Tabla A10.5. Características químicas de las corrientes 1 y 2a

CORRIENTE 1		CORRIENTE 2a	
DQO (g/l)	36,22	DQO (g/l)	3,00
DBO (g/l)	11,65	DBO (g/l)	1,86
N (g/l)	5,44	N (g/l)	0,54
NH₄ (g/l)	1,55	NH₄ (g/l)	0,00
NO₃ (g/l)	164,5	NO₃ (g/l)	0,00
PO₄ (g/l)	1,56	PO₄ (g/l)	0,44
Q (m³/día)	72,64	Q (8h) (m³/h)	9,08
Biomasa microalgal (g/m³-día)	711,35	Biomasa microalgal (8h) (g/m³-h)	88,92
Biomasa microalgal (g/día)	51672,46	Biomasa microalgal (8h) (g/h)	807,67
Biomasa bacteriana (g/m³-día)	684,42	Biomasa bacteriana (8h) (g/m³-h)	85,55
Biomasa bacteriana (g/día)	49716,27	Biomasa bacteriana (8h) (g/h)	776,79

Tabla 1. Niveles de remoción de contaminantes presentes en aguas residuales mediante cultivo de microalgas según diferentes autores. HRAP= High Rate Algal Ponds, PBR= Photobioreactor, P= Planta piloto. (*) No se indica qué tipo de sistema de cultivo se utilizó / Removal levels of pollutants in wastewater using microalgae culture by different authors. HRAP= High Rate Algal Ponds, PBR= Photobioreactor, P= Pilot plant. (*) No indication of what type of culture system was used

Parámetro	Remoción (%)	Especie	Sistema de cultivo	Tipo de agua residual	Escala	Fuente
NH ₄	98,50	Cultivo mixto, <i>Chlamydomonas</i> , <i>Chlorella</i> y <i>Nitzschia</i> (predominantes)	HRAP	Agua residual de porqueriza	P	de Godos <i>et al.</i> 2009
	60,1-80 / 96,6-100	<i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus obliquus</i> , respectivamente	PBR	Agua residual municipal	L	Ruiz-Marin <i>et al.</i> 2010
	91-96	Cultivo mixto, <i>Spirulina</i>	HRAP	Agua residual de porqueriza	L	Olguin 2003
	Hasta 100	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
	Hasta 100	<i>Chlorella vulgaris</i>	*	Agua residual municipal	L	de-Bashan & Bashan 2003
	Hasta 100	<i>Scenedesmus obliquus</i>	*	Agua residual municipal	L	Lavoie & de la Noüe 1985
	85-90	Cultivo mixto, <i>Micractinium</i>	HRAP	Agua residual municipal	P	Nurdogan & Oswald 1995
NO ₂	69	Cultivo mixto	HRAP	Agua residual municipal	P	Hamouri <i>et al.</i> 1994
	96,23-100	<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Synechocystis salina</i> y <i>Gloeoecapsa gelatinosa</i>	*	Agua residual industrial	L	Dominic <i>et al.</i> 2009
NO ₃	90	<i>Phormidium uncinatum</i>	PBR	Agua residual artificial	L	Gil & Serra 1993 en Olguin 2003
	100	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
	80,9-84	<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Synechocystis salina</i> y <i>Gloeoecapsa gelatinosa</i>	*	Agua residual industrial	L	Dominic <i>et al.</i> 2009
PO ₄	64,52-75	<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Synechocystis salina</i> y <i>Gloeoecapsa gelatinosa</i>	*	Agua residual industrial	L	Dominic <i>et al.</i> 2009
	92	<i>Chlorella vulgaris</i>	*	Agua residual municipal	L	de-Bashan & Bashan 2003
	72-87	<i>Spirulina</i>	HRAP	Agua residual de porqueriza	P	Olguin 2003
	52	Cultivo mixto	HRAP	Agua residual municipal	P	Hamouri <i>et al.</i> 1994
	95-99	Cultivo mixto, <i>Micractinium</i>	HRAP	Agua residual municipal	P	Nurdogan & Oswald 1995
	99	Cultivo mixto	PBR	Agua residual municipal	L	Woertz <i>et al.</i> 2009
DBO	84	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
	88	Cultivo mixto	HRAP	Agua residual municipal	P	Hamouri <i>et al.</i> 1994
	87	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Nitzschia</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Mc Griff & Mc Kinney 1972
	95-98	Cultivo mixto, <i>Micractinium</i>	HRAP	Agua residual municipal	P	Nurdogan & Oswald 1995
DQO	81-91,7	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i> , respectivamente.	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
	92	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Nitzschia</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Mc Griff & Mc Kinney 1972
	80-85	Cultivo mixto, <i>Micractinium</i>	HRAP	Agua residual municipal	P	Nurdogan & Oswald 1995
Fe	96,5-98	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
Zn	77,4-85	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
Mn	100	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
Ni	77,3-81	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
Cr	77,5-95	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
	39,6-78,2	<i>Scenedesmus incrassatulus</i>	*	Agua residual artificial	L	Peña-Castro <i>et al.</i> 2004
Cd	48 y 31	<i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i> , respectivamente	-	-	L	Travieso <i>et al.</i> 1999 en Perales-Vela <i>et al.</i> 2006
	52,3-64	Cultivo mixto, <i>Chlorella</i> y <i>Scenedesmus</i>	PBR	Agua residual municipal	L	Hammouda <i>et al.</i> 1995
	24,1-65,7	<i>Scenedesmus incrassatulus</i>	*	Agua residual artificial	L	Peña-Castro <i>et al.</i> 2004
Cu	65	<i>Chlorella</i>	-	-	-	Matsunaga <i>et al.</i> 1999 en Perales-Vela <i>et al.</i> 2006
	25,6-43,9	<i>Scenedesmus incrassatulus</i>	*	Agua residual artificial	L	Peña-Castro <i>et al.</i> 2004
Co	82-93	<i>Scenedesmus obliquus</i>	PBR	Agua residual artificial	L	Travieso <i>et al.</i> 2002

Figura A10.3. Parámetros de eliminación de nutrientes en aguas residuales. [Fuente: Hernández Pérez, A. H. 2014. Microalgas: cultivo y beneficios. Revista de Biología Marina y Oceanografía de la Universidad de Valparaíso, Chile]

2.2.- Balance a la centrífuga

La corriente que llega a la centrífuga a la salida del reactor, pasa por una bomba de impulsión debido a que a la salida del HRAP se instalará una tubería de salida de mayor diámetro por la cual el fluido se desplazará con menor velocidad y debe llegar a la centrífuga por una tubería de menor diámetro para llegar al tubo estacionario que la máquina dispone; la corriente 2b es la correspondiente a la impulsión de la bomba. Como características de la centrífuga encontramos las siguientes:

- Capacidad hidráulica máxima de 10000l/h: por lo que el caudal que llegará de 9,03m³/h es aceptable.
- Capacidad máxima de tambor de 4l y de cámara de sólidos de 1,5l: de manera, que la máxima concentración es de 37,5% en peso, por lo cual el flujo que será centrifugado con una concentración total de 0,1368% no presentará problemas.

Para realizar el balance de masa a la centrífuga se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Al tratarse de una centrífuga de discos, se establece trabajar con una media funcional de 10000 x g como se ha indicado en el Anejo 5.
2. La biomasa bacteriana tiene un peso mucho menor que la microalgal, por lo que se asume la sedimentación centrífuga únicamente de esta última, saliendo con un 20% de humedad estimado.
3. La biomasa bacteriana será sedimentada por lo que el 100% de su concentración continuará en el flujo y será separada posteriormente.
4. Los cálculos se realizan para 8 horas funcionales de trabajo.
5. Se asume que la humedad presente en la corriente 4, es agua con una densidad de 1000kg/m³.

El flujo de corriente 4 constará de una pasta formada por el total de la biomasa microalgal más el 20% de su peso en humedad; por lo tanto, siguiendo las ecuaciones A10.6, A10.7y A10.8 se puede calcular el caudal de agua que transportará la corriente 4 así como el que circulará por la corriente 3 que será el resto de agua, todos estos datos se resumen en la *Tabla A10.6*.

$$Pesototaldelapasta = \frac{Biomasa\ microalgal\ \left(\frac{g}{h}\right) * 100\%}{80\%} \quad Ec. A10.6$$

$$Peso\ del\ agua = peso\ total\ de\ la\ pasta\ \left(\frac{g}{h}\right) - Peso\ biomasa\ microalgal\ \left(\frac{g}{h}\right) \quad Ec\ A10.7$$

$$Caudal\ de\ agua = \frac{peso\ del\ agua\ \left(\frac{g}{h}\right)}{densidad\ del\ agua\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)} \quad Ec. A10.8$$

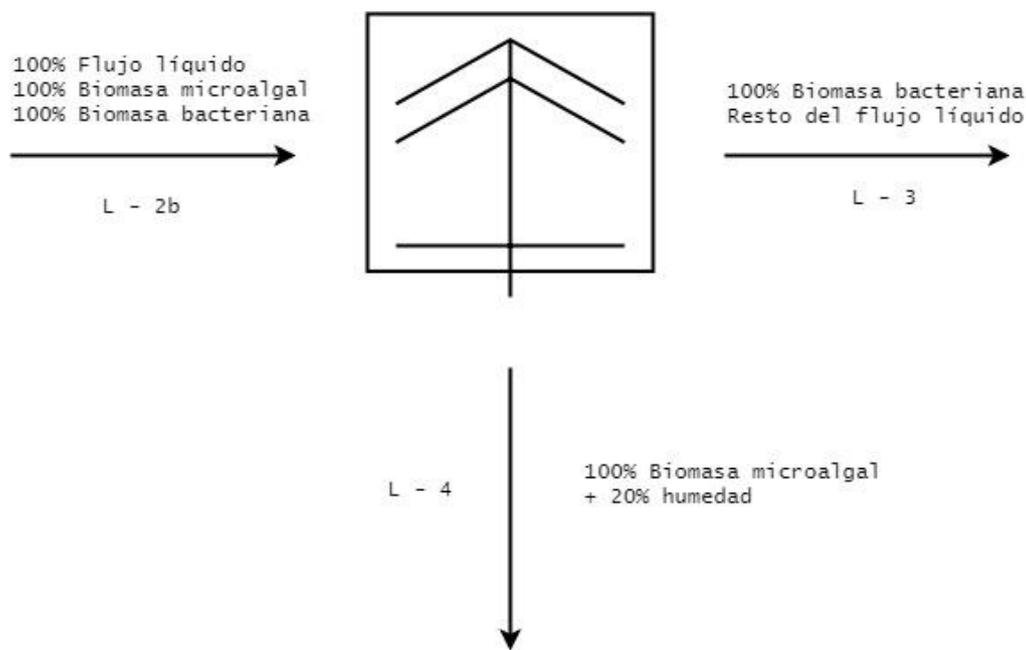


Figura A10.4. Diagrama de flujo a la centrífuga
[Fuente: elaboración propia]

Tabla A10.6. Características de las corrientes de la centrífuga

CORRIENTE 2b		CORRIENTE 3		CORRIENTE 4	
Q (m³/h)	9,08	Q (m³/h)	9,0798	Q (m³/h)	0,0002
Biomasa microalgal (g/h)	807,67	Biomasa bacteriana (g/h)	776,79	Biomasa microalgal (g/h)	807,67
Biomasa bacteriana (g/h)	776,79				

2.3.- Balance al equipo de ultrasonidos

La corriente 4 que sale de la centrífuga con la biomasa microalgal cosechada y con un 20% de humedad, pasará posteriormente al equipo de ultrasonidos para la extracción de los lípidos celulares. Como se ha decidido en el Anejo 6, se utilizarán solventes químicos para facilitar y agilizar el proceso de extracción lipídica siguiendo el método de Bligh&Dyer, explicado en el mismo Anejo. Por lo tanto, es necesario adicionar estos productos químicos. Ambos solventes, metanol y cloroformo se encontrarán en unos depósitos de almacenamiento (D-1 y D-2 respectivamente) y se transportarán por sus correspondientes líneas de corriente hasta el equipo de ultrasonidos; *Figura A10.5*. Ambos transportes, tanto el de la pasta de la biomasa como el de los solventes, se realizará de manera natural, sin ayuda mecánica, mediante gravedad.

Para ello, se dispondrán tanto la centrífuga como los depósitos en alturas superiores a la que se encontrará el sistema de ultrasonidos. Una vez toda la mezcla sea tratada con ultrasonidos, será trasladada a la industria biotecnológica donde se separarán los compuestos para obtener de manera limpia los lípidos microalgales.

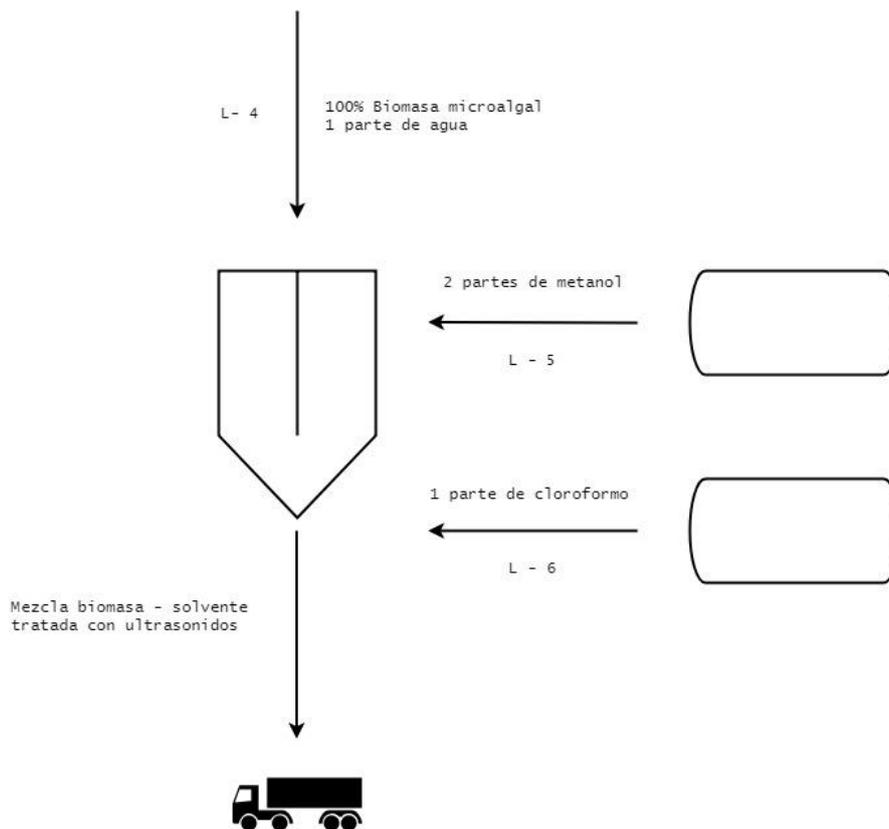


Figura A10.5. Diagrama de flujo al equipo de ultrasonidos [Fuente: elaboración propia]

Para realizar el balance al sistema de ultrasonificación, se considera:

1. La relación de solventes es 1:2:1 para C:M:A en unidades volumétricas, como se ha decidido en el Anejo 6 y la relación muestra:solventes no se tiene en cuenta debido a que el proceso de extracción química será combinado con ultrasonidos.
2. El volumen total de entrada al equipo de ultrasonidos será el mismo que el de salida debido a que los flujos no se dividen ni se sufren modificaciones químicas a la salida del equipo, sino que sufren variaciones químicas de separación de compuestos.

Tabla A10.7. Características de las corrientes al equipo de ultrasonidos

CORRIENTE 4		CORRIENTE 5		CORRIENTE 6	
Q agua (m³/h)	0,0002	Q metanol (m³/h)	0,0004	Q cloroformo (m³/h)	0,0002
Biomasa (g/h)	807,67				

2.4.- Obtención total de lípidos microalgales

El objetivo del presente proyecto es la instalación de un sistema de cultivo de microalgas que garantice la producción estimada de biomasa, y los respectivos equipos de cosechado y extracción de lípidos celulares, al mismo tiempo que sustituye el tratamiento secundario de una EDAR. La producción en lípidos de esta cantidad de biomasa no es objeto de este trabajo; sin embargo, se realizan los cálculos pertinentes a fin de cerrar el ciclo total de balance de materia.

Para ello, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- El cálculo se realiza a partir del dato de productividad de 70t/año
- Como se ha expuesto en el Anejo 6: Extracción de lípidos mediante ultrasonidos, se aplicará un 72% de eficiencia en extracción de lípidos celulares por el método combinado de Bligh&Dyer con ultrasonidos.
- Se asume un 70% de aceite en peso para la especie *Scenedesmus* spp.

OBTENCIÓN ANUAL DE LÍPIDOS	35.280 kg
-----------------------------------	------------------

3.- Balance de energía

En la *Tabla A10.8* se recogen los cálculos correspondientes al balance de energía considerando la energía consumida por cada uno de los equipos eléctricos instalados y las horas de operación diarias de cada uno de ellos, consiguiendo así el total de energía consumida en todo el nuevo proceso anualmente y calculando su coste en base a un precio regulado en el mercado de España a fecha de 2018 de 0.12159 €/kWh

Tabla A10.8. Balance de energía del proceso

EQUIPO	kW	h trabajo/día	kWh/día
Agitador del reactor	0,75	24	18
Equipo de centrifugación	5,5	8	44
Equipo de ultrasonidos	0,5	8	4
Bomba de impulsión	0,375	8	3

Total diario (24h)	69 kWh/día
Total anual (300 días)	20700kWh/año
COSTE ANUAL	2516,913€/año

Anejo 11:
ESTUDIO DE SEGURIDAD Y
SALUD

ÍNDICE DEL ANEJO 11: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

1. Objeto del estudio de seguridad y salud	1
2. Características del proyecto	1
2.1. Denominación	1
2.2. Presupuesto	1
2.3. Designación de los coordinadores en materia de seguridad y salud.....	1
2.4. Plazo de ejecución	2
3. Riesgos	3
3.1. Descripción de riesgos	3
3.2. Prevención de riesgos	4
3.2.1. Protecciones colectivas.....	4
3.2.2. Protecciones individuales.....	4
3.3. Análisis de peligrosidad de los químicos a utilizar	5
3.4. Prevención de riesgos a terceros	6
3.5. Prevención de riesgos en trabajos de mantenimiento.....	6
4. Normativa	6
5. Condiciones de los elementos de protección personal o colectiva	6
6. Condiciones de índole facultativas	8
7. Plan de Seguridad y Salud en el trabajo	8
8. Libro de incidencias	8
9. Derechos de los trabajadores	9

1.- Objeto del estudio de seguridad y salud

El fin del presente Anejo es el cumplimiento del Artículo 4, apartado 1 del Real Decreto 1627/1997 del 24 de Octubre; estableciendo así las normas y reglas de prevención de accidentes y enfermedades tanto profesionales como los que puedan producirse en los trabajos de reparación, conservación, entretenimiento, mantenimiento e instalaciones perceptivas de Higiene y Bienestar de los trabajadores. Lo establecido en esta normativa será la base para que la Empresa Constructora elabore el Plan de Seguridad y Salud que será analizado, estudiado, desarrollado y complementado en función del sistema de ejecución de la implantación de las nuevas instalaciones.

El Plan de Seguridad y Salud del proyecto deberá ser presentado antes del inicio del desarrollo de los trabajos de ejecución, de manera que ha de ser aprobado expresamente por el Coordinador de Seguridad y Salud en fase de ejecución o a su representante.

2.- Características del proyecto

2.1.- Denominación

Las obras del presente proyecto se refieren a la implantación de un reactor HRAP *raceway* en sustitución al sistema de tratamiento secundario actual de la EDAR de Lerma (Burgos) y a la instalación de los equipos adicionales que permitan un nuevo proceso de fotobiorremediación con obtención de biomasa microalgal para producción de lípidos como materia prima para biodiésel.

2.2.- Presupuesto

El presupuesto destinado a la ejecución de las instalaciones del presente proyecto asciende a la suma de CUARENTA Y CUATRO MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y TRES EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS, 44753,80€ (con 21% de IVA incluido), con una dedicación de OCHOCIENTOS CUARENTA EUROS Y TREINTA Y DOS CÉNTIMOS, 840,32€.

2.3.- Designación de los coordinadores en materia de Seguridad y Salud

Según el Artículo 3 Capítulo 11 del R.O. 1627/1997, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, el promotor será encargado de designar a un coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución del proyecto.

Cuando en la implantación de las instalaciones intervenga más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos, el promotor, antes del inicio de los trabajos o tan pronto como se constate dicha circunstancia, designará un coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.

La designación de Coordinador en la elaboración del proyecto y en la ejecución de los trabajos de instalación podrá recaer en la misma persona. Esta designación no eximirá al promotor de sus responsabilidades.

El Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad.
- Coordinar las actividades de la obra para garantizar que las empresas y personal actúen, apliquen de forma coherente y responsable los principios de acción preventiva que se recogen en el Artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales durante la ejecución de la obra, y en particular, en las actividades a que se refiere el Artículo 10 del Real Decreto 1627/1997.
- Aprobar el Plan de Seguridad y Salud elaborado por el contratista y, en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo.
- Organizar la coordinación de las actividades empresariales previstas en el Artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.
- Adoptar las medidas necesarias para que solo las personas autorizadas puedan acceder a la obra.

La dirección Facultativa asumirá estas funciones cuando no fuera necesario la designación del Coordinador.

2.4.- Plazo de ejecución

Según lo establecido en el Pliego de Condiciones del presente proyecto y definido gracias a un estudio preliminar de planificación temporal de los trabajos a realizar, el plazo máximo de modificación de la estación depuradora e implantación de los nuevos equipos y sistemas no será superior a seis meses.

Este plazo se decide con un tiempo de tres meses estimado para la realización de todos los trabajos siendo prorrogable en caso de ser necesario debido a problemas en su desarrollo por fuerzas mayores o climáticas. Se ha previsto para ello una media de 5 operarios durante la instalación aunque esta cantidad podría aumentarse o disminuirse en caso de ser adecuado en algunas etapas.

3.- Riesgos

3.1.- Descripción de riesgos

Implantación del reactor:

- Quemaduras por soldaduras
- Afecciones oculares por soldaduras
- Afecciones respiratorias por pinturas y/o barnices
- Cortes y/o golpes
- Ruido y vibraciones
- Polvo
- Lesiones de los operarios
- Atrapamientos
- Trabajos en zonas húmedas y/o con volúmenes de agua
- Condiciones adversas de meteorología

Instalación de equipos:

- Atropellos por maquinaria
- Colisiones y/o vuelcos
- Caída desde altura de objetos
- Electrocutación
- Quemaduras y/o radiaciones por soldadura
- Afecciones oculares por soldaduras
- Cortes y/o golpes
- Ruido y vibraciones
- Lesiones de los operarios
- Trabajos en zonas húmedas y/o con volúmenes de agua
- Contactos eléctricos
- Condiciones adversas de meteorología

Fontanería:

- Atropellos por maquinaria
- Colisiones y/o vuelcos
- Atrapamientos
- Contactos eléctricos
- Cortes y/o golpes
- Lesiones de los operarios
- Ruido y vibraciones
- Trabajos en zonas húmedas
- Condiciones adversas de meteorología

3.2.- Prevención de riesgos

En este apartado se definen las medidas técnicas preventivas a tomar a fin de desaparecer los riesgos evitables y prevenir los no evitables. Estas medidas están formadas por protecciones colectivas que serán sustituidas y/o complementadas con protecciones individuales cuando sea preciso. Todo esta normativa será complementada con la información y formación suficientes del personal que el coordinador de seguridad de la ejecución del proyecto considere necesarias para que conozcan en materia de riesgos residuales.

3.2.1.- Protecciones colectivas

- Delimitación de la zona de trabajo con vallas y/o cinta de balizamiento.
- Señalización luminosa y acústica de operación de maquinaria.
- Colocación de redes elásticas de resistencia adecuada cuando sea preciso.
- Reserva de zonas específicas para acopio de materiales tóxicos y/o peligrosos.
- Manipulación por personal especializado.
- Iluminación adecuada.
- No volarán cargas sobre zonas de paso y, si fuera imprescindible, se protegerán dichas zonas con marquesinas de resistencia adecuada.
- La maquinaria y herramientas estarán en perfecto estado de uso.
- El personal tendrá la formación necesaria y adecuada al trabajo a desarrollar.
- Existirá en la zona un botiquín con equipamiento suficiente para pequeños accidentes y curas de urgencia que se renovará inmediatamente tras su uso.
- Se dispondrá de vestuarios y servicios higiénicos debidamente dotados, pudiendo usar los de la planta.

3.2.2.- Protecciones individuales

Estas medidas se utilizarán cuando no sea posible la utilización de elementos de protección colectiva, estos resulten insuficientes o la utilización de una protección colectiva suponga un riesgo mayor que la individual.

- Cascos.
- Guantes de seguridad.
- Botas de agua y de seguridad.
- Monos de trabajo y trajes de agua.
- Gafas de seguridad antipolvo e impactos.
- Máscaras desechables para polvo.
- Protectores auditivos.
- Fajas y muñequeras para manipulación de cargas pesadas.

3.3.- Análisis de peligrosidad de los químicas a utilizar

Se adjuntan a continuación, las fichas técnicas de seguridad química para los solventes utilizados en el proceso: metanol y cloroformo. Estas fichas son de carácter internacional, cooperación entre el IPCS (*International Programme on Chemical Safety*) y la Comisión Europea, y han sido obtenidas del Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el trabajo (INSSBT).

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL		ICSC: 0057	
		Abril 2000	
Alcohol metílico		Carbinol	
CAS:	67-56-1	CH₄O / CH₃OH	
RTECS:	PC1400000	Masa molecular: 32.0	
NU:	1230		
CE Índice Anexo I:	603-001-00-X		
CE / EINECS:	200-659-6		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable. Ver Notas.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA EXPOSICION DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
Inhalación	Tos. vértigo. Dolor de cabeza. Náuseas. Debilidad. Alteraciones de la vista.	Ventilación. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Jadeo. Vómitos. Convulsiones. Pérdida del conocimiento (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!). Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Eliminar el residuo con agua abundante. Eliminar vapor con agua pulverizada. Traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: F, T R: 11-23/24/25-39/23/24/25; S: (1/2-)7-16-36/37-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Riesgos Subsidiarios de las NU: 6.1; Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1230. Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco.	
IPCS International Programme on Chemical Safety	  		 
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2000			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL**ICSC: 0057**

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido incoloro, de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS:

El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.

PELIGROS QUÍMICOS:

Reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 200 ppm como TWA, 250 ppm como STEL; (piel); BEI establecido (ACGIH 2004).

MAK: Riesgo para el embarazo: grupo (DFG 2004).

LEP UE: 200 ppm; 260 mg/m³ como TWA (piel) como TWA (UE 2006).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a pérdida del conocimiento. La exposición puede producir ceguera y muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar sistema nervioso central, dando lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 65 °C

Punto de fusión: -98 °C

Densidad relativa (agua = 1): 0.79

Solubilidad en agua: miscible

Presión de vapor, kPa a 20 °C: 12.3

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.1

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1.01

Punto de inflamación: 12 °C c.c.

Temperatura de autoignición: 464 °C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 5.5-44

Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.82/-0.66

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

Arde con llama azulada. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2006: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 200 ppm; 266 mg/m³

Notas: vía dérmica.

VLB: 15 mg/L en orina. Notas F, I.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

CLOROFORMO

ICSC: 0027
Abril 2000

CAS: 67-66-3 Triclorometano
 RTECS: FS9100000 Tricloruro de metilo
 NU: 1888 Tricloruro de formilo
 CE Índice Anexo I: 602-006-00-4 CHCl₃
 CE / EINECS: 200-663-8 Masa molecular: 119.4



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Véanse Notas. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: usar agente de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡HIGIENE ESTRICTA! ¡EVITAR LA EXPOSICIÓN DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
Inhalación	Tos. Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Piel seca.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Vómitos. (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber agua abundante. Reposo. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: Xn R: 22-38-40-48/20/22 S: (2-)36/37 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: III
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-61S1888 Código NFPA: H 2; F 0; R 0;	Separado de alimentos y piensos y materiales incompatibles (Véanse Peligros Químicos). Ventilación a ras del suelo.

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005



CLOROFORMO

ICSC: 0027

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO

Líquido incoloro volátil, de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS

El vapor es más denso que el aire .

PELIGROS QUÍMICOS

En contacto con superficies calientes o con llamas esta sustancia se descompone formando humos tóxicos y corrosivos (cloruro de hidrógeno ICSC0163, fosgeno ICSC0007 y vapores de cloro ICSC0126). Reacciona violentamente con bases fuertes, oxidantes fuertes, algunos metales, como aluminio, magnesio y zinc, originando peligro de incendio y explosión. Ataca plástico, caucho y revestimientos.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

TLV (como TWA): 10 ppm; A3 (ACGIH 2004).
MAK: 0.5 ppm; 2.5 mg/m³; Carcinógeno categoría 4, H (absorción dérmica), Categoría de limitación de pico: II(2), Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).

VÍAS DE EXPOSICIÓN

La sustancia se puede absorber por inhalación a través de la piel y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN

Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN

La sustancia irrita los ojos. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, hígado y riñón. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA

El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al hígado y al riñón. Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 62°C
Punto de fusión: -64°C
Densidad relativa (agua = 1): 1,48
Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0,8
Presión de vapor, kPa a 20°C: 21,2
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,12

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,7
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1,97

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.

NOTAS

Se puede volver combustible por la adición de pequeñas cantidades de una sustancia inflamable o por el aumento del contenido de oxígeno en el aire. El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. La alerta por el olor es insuficiente. NO utilizar cerca de un fuego, una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 2 ppm; 10 mg/m³

Notas: vía dérmica. Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH. Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.

NOTA LEGAL

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

3.4.- Prevención de riesgos a terceros

Para evitar posibles daños a terceros se señalarán, acorde a la normativa vigente, los accesos a la zona de trabajo, zonas de paso, prohibición de acceso a la zona de personal no autorizado y vallado del perímetro.

Habrà señalización de uso obligatorio, de prohibición y de prevención.

3.5.- Prevención de riesgos en trabajos de mantenimiento

El mantenimiento posterior de las instalaciones se realizará contemplando las mismas medidas de seguridad frente a cada riesgo específico.

4.- Normativa

Serán de obligado cumplimiento las disposiciones contenidas en:

- LEY 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 39/1997 de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- R.D. 485/1997 de 14 de abril, sobre Disposiciones Mínimas en Materia de Señalización de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- R.D. 486/ 1997 de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de Trabajo.
- R.D. 487/1997 de 14 de abril, sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad Salud relativas a la Manipulación Manual de Cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- R.D. 1407/1992 de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los Equipos de Protección Individual.
- R.D. 1316/1989 de 27 de octubre sobre la Protección de los Trabajadores frente a los Riesgos derivados de su exposición al Ruido durante el trabajo.
- Estatuto de los trabajadores.
- Ordenanza general de Seguridad e Higiene en el trabajo.
- Ordenanzas municipales (Lerma).

5.- Condiciones de los elementos de protección personal o colectiva

Todos los elementos de protección personal o colectiva tendrán un periodo de útil; desechándose al final de este y repuestos de inmediato. Cuando las circunstancias del trabajo o el inadecuado uso produzca un deterioro prematuro de los elementos de protección personal o colectiva, estos se desecharán con independencia de su vida útil y serán repuestos de inmediato.

Todos los elementos de protección personal o colectiva que sin haber llegado a su vida útil hayan sufrido un trato próximo al máximo para que el fabricante de las especificaciones serán desechados y repuestos de inmediato. Cuando la utilización de un elemento de protección personal o colectiva suponga un riesgo en si misma se empleará un elemento alternativo y suficientemente eficaz.

Elementos de protección personal:

En todo momento cumplirán con en R.O. 1407/1992 de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los Equipos de Protección Individual.

En el caso de que no exista en la normativa, los elementos de protección personal serán de calidad adecuada a sus respectivas prestaciones.

Elementos de protección colectiva:

- Las máquinas que se empleen en la obra dispondrán de avisadores ópticos y acústicos durante su funcionamiento.
- Los topes de desplazamientos de vehículos se podrán realizar con un par de tablones embreados fijados al terreno de forma eficaz.
- Las redes anticaídas serán redes de resistencia adecuada. La cuadrícula máxima será de 10 x 10 cm. Irán fijadas adecuadamente a los paramentos y/o forjados con mástiles y horcas. Los distintos módulos de red se unirán entre sí de manera efectiva. Se sustituirán si una cuadrícula está rota o deteriorada. Se sustituirán igualmente después de 6 meses.
- No se volaran cargas en las zonas de paso. Si esto fuera imprescindible se protegerá las zonas.
- El acopio de los materiales tóxicos y/o peligrosos se realizara en zonas específicas separadas adecuadamente del resto.

Servicios de prevención, vigilancia y control:

La empresa constructora contará con asesoramiento técnico en materia de Seguridad. Así mismo contara con un servicio médico propio o mancomunado.

La empresa constructora nombrara un vigilante en materia de Seguridad y Salud de acuerdo con lo previsto en la Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Se construirá un Comité cuando el número de trabajadores supere el previsto en la Ordenanza de la Construcción, o en su caso lo que disponga el Convenio Colectivo Provincial.

Instalaciones médicas y de higiene y bienestar:

El botiquín se revisara mensualmente y se renovara inmediatamente el material consumido. El vestuario dispondrá de una taquilla por trabajador, tendrá bancos, ventilación e iluminación suficientes. Los servicios higiénicos tendrán un lavabo y una ducha por cada 10 trabajadores de la industria y un W.C. estarán debidamente equipados. Los vertidos se realizaran a la red de saneamiento.

6.- Condiciones de índole facultativa

Antes de dar comienzo los trabajos de implantación de las nuevas instalaciones, el contratista consignará por escrito que la documentación aportada le resulta suficiente para la comprensión del proyecto contratado, o en caso contrario, solicitará las aclaraciones pertinentes.

El contratista, a la vista de este proyecto, presentará un Plan de Seguridad y Salud que deberá ser aprobado por el coordinador en materia de Seguridad y Salud. El contratista exigirá a los posibles subcontratistas el cumplimiento en todo momento de las condiciones del Proyecto y del Plan de Seguridad y Salud, de lo cual será responsable. Del mismo modo el contratista dará cuantas facilidades fueran precisas a los subcontratistas para que éstos puedan cumplir fehacientemente con dichas condiciones. El Plan de Seguridad y Salud deberá estar en la obra a disposición de la dirección facultativa.

7.- Plan de seguridad y salud en el trabajo

En aplicación del Estudio Básico de Seguridad y Salud, el contratista, antes del inicio de las actividades, elaborará un Plan de Seguridad y Salud en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en este Estudio Básico y en función de su propio sistema de ejecución de proyecto. En dicho Plan se incluirán, en su caso, las propuestas de medidas alternativas de prevención que el contratista proponga con la correspondiente justificación técnica, y que no podrán implicar disminución de los niveles de protección previstos en este Estudio Básico. El Plan de Seguridad y Salud deberá ser aprobado, antes del inicio de la obra, por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la instalación. Este podrá ser modificado por el contratista en función del proceso de ejecución de la misma, de la evolución de los trabajos y de las posibles incidencias o modificaciones que puedan surgir a lo largo de los trabajos, pero que siempre con la aprobación expresa del Coordinador. Cuando no fuera necesaria la designación del Coordinador, las funciones que se le atribuyen serán asumidas por la Dirección Facultativa.

Quienes intervengan en la ejecución, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas intervinientes en la misma y los representantes de los trabajadores, podrán presentar por escrito y de manera razonada, las sugerencias y alternativas que estimen oportunas. El Plan estará en la obra a disposición de la Dirección Facultativa.

8.- Libro de incidencias

En cada centro de trabajo existirá, con fines de control y seguimiento del Plan de Seguridad y Salud, un Libro de Incidencias que constará de hojas por duplicado y que será facilitado por el Colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el Plan de Seguridad y Salud. Deberá mantenerse siempre en la zona de implantación y en poder del Coordinador.

Tendrán acceso al Libro, la Dirección Facultativa, los contratistas y subcontratistas, los trabajadores autónomos, las personas con responsabilidades en materia de prevención de las empresas intervinientes, los representantes de los trabajadores, y los técnicos especializados de las Administraciones públicas competentes en esta materia, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo.

Sólo se podrán hacer anotaciones en el Libro de Incidencias relacionadas con el cumplimiento del Plan. Efectuada una anotación en el Libro de Incidencias, el Coordinador estará obligado a remitir en el plazo de veinticuatro horas una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia en que se realiza la obra. Igualmente notificará dichas anotaciones al contratista y a los representantes de los trabajadores.

9.- Derechos de los trabajadores

Los contratistas y subcontratistas deberán garantizar que los trabajadores reciban una información adecuada y comprensible de todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud en las actividades a desempeñar.

Una copia del Plan de Seguridad y Salud y de sus posibles modificaciones, a los efectos de su conocimiento y seguimiento, será facilitada por el contratista a los representantes de los trabajadores en el centro de trabajo.

Anejo 12:

EVALUACIÓN ECONÓMICA

ÍNDICE DEL ANEJO 12: EVALUACIÓN ECONÓMICA

1. Introducción	1
2. Vida útil de proyecto	1
3. Inversión inicial	1
3.1. Presupuesto de ejecución por contrata	1
3.2. Honorarios del proyectista y dirección de obra	1
3.3. Cepa de microalga	1
3.4. Resumen de la inversión inicial	2
4. Costes ordinarios	2
4.1. Metanol	2
4.2. Cloroformo	2
4.3. Mano de obra	2
4.4. Gastos generales	3
4.5. Resumen de gastos y costes ordinarios	3
5. Ingresos ordinarios	3
6. Ingresos extraordinarios	4
7. Gastos financieros	4
8. Estructura de flujos de caja	4
9. Índices de rentabilidad	5
9.1. Valor Actual Neto (VAN)	5
9.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	5
9.3. Relación beneficio/inversión (Q)	6
9.4. Resultados obtenidos	6
9.5. Plazo de recuperación	6

1.- Introducción

En el presente estudio económico se desarrollará una evaluación de la viabilidad de la inversión proyectada mediante el análisis de sus principales indicadores financieros establecidos:

- a) Valor Actual Neto (VAN)
- b) Tasa Interna de Rendimiento (TIR)
- c) Relación Beneficio/Inversión (B/I)

Con las nuevas instalaciones que se proponen en el presente proyecto, se pretende una producción de 70 toneladas anuales de biomasa microalgal, valorizando su contenido en lípidos que proporciona una cantidad de 35,28t anuales, calculado en el Anejo 10. Además, se considerarán los ingresos generados por el tratamiento de las aguas residuales ganaderas de la planta, considerando que la inversión de la construcción original ya ha sido amortizada, siendo entonces este total de ingresos, beneficio bruto.

2.- Vida útil del proyecto

La determinación de vida útil de un proyecto se estima en función del elemento de mayor duración, siempre que el valor de éste represente un valor significativa con respecto al total de la inversión.

Al tratarse de un proyecto de instalaciones de equipos y sistemas, se estimará una vida útil de 15 años, siendo prudentes, considerando este tiempo suficientemente representativo de la actividad.

3.- Inversión inicial

3.1.- Presupuesto de ejecución por contrata

El presupuesto de ejecución por contrata de las instalaciones a realizar asciende a 36.986,61 €.

3.2.- Honorarios de proyectista y dirección de obra

Se establecen en 3.883,59 €.

3.3.- Cepa de microalgas

Se propone la compra de cepas unialgales de un valor de 150€, adquiriendo un total de 10 unidades volumétricas de estas para asegurar una rápida instalación del cultivo, de manera que el gasto asciende a 1.500 €.

3.4.- Resumen de la inversión inicial

Ejecución del proyecto	36.986,61 €
Honorarios de la obra	3.883,59 €
Cepas de microalgas	1.500€
TOTAL INVERSIÓN INICIAL	<u>42.370,20 €</u>

4.- Costes ordinarios

4.1.- Metanol

El gasto de metanol solvente en el proceso de ultrasonificación es de 0,0004 m³/h que hace un total de 0,96 m³/anuales, calculando una operación de 8 horas diarias, 300 días al año. El precio del metanol industrial es de 1,88 €/l, por lo que:

$$960 \text{ l} \times 1,88 \text{ €/l} = 1.804,8 \text{ €}$$

4.2.- Cloroformo

El gasto de cloroformo como solvente en el proceso de ultrasonificación es de 0,0002 m³/h que hace un total de 0,48 m³/anuales, calculando una operación de 8 horas diarias, 300 días al año. El precio del metanol industrial es de 6,09 €/l, por lo que:

$$480 \text{ l} \times 6,09 \text{ €/l} = 2.923,2 \text{ €}$$

4.3.- Mano de obra

Se establece un coste de 100 € de mano de obra por tonelada de lípidos obtenida y mes, debido a que el proceso está altamente automatizado, por lo tanto:

$$35,28 \text{ t/año} \times 12 \text{ meses} \times 100 \text{ €/mes} \cdot \text{kg} = 42.336 \text{ €}$$

4.4.- Gastos generales

En los gastos generales se incluye el gasto por electricidad que asciende a 2.516,91 € anuales como se ha calculado en el Anejo 10. Se añade también un factor por gastos de agua, electricidad, seguros, gasóleo, teléfono, reparaciones y conservación de instalaciones, etc., de 73,50 € por mes y tonelada de lípidos, por lo que:

$$35,28 \text{ t/año} \times 12 \text{ meses} \times 73,50 \text{ €/mes} \cdot \text{kg} = 31.116,96 \text{ €}$$

$$31.116,96 \text{ €} + 2.516,91 \text{ €} = 33.633,87 \text{ €}$$

4.5.- Resumen de costes y gastos ordinarios

Metanol	1.804,80 €
Cloroformo	2.923,20 €
Mano de obra	42.336 €
Gastos generales	33.633,87 €

TOTAL COSTES ORDINARIOS 80.697,87 €

5.- Ingresos ordinarios

Se considera que los precios son muy variables y se eligen precios medios para realizar los cálculos. Los ingresos obtenidos en para estas nuevas instalaciones son los obtenidos por la venta de los lípidos celulares a la industria biotecnológica, se define a un precio de venta de 1 € el kilo de lípidos microalgales. Así, se obtiene un ingreso total anual de 35.280 €.

Además, se suman los ingresos del total de la estación depuradora debido a que la construcción original ya ha cumplido su tiempo de amortización, de manera que todo el ingreso producido por este proceso, es beneficio neto. Así, la planta cuenta con un beneficio por rentabilidad en comparación con la gestión de purines a los ganaderos de manera individual, de tal forma que se evalúa el precio que estos ahorran en cada viaje para su transporte. Se considera un total de 20.000 m³/año de agua tratada que, fijando un volumen por viaje de 24 m³, significa un total de 834 viajes a un precio de 60€ cada uno, obteniendo así un ingreso anual por clarificación de aguas residuales ganaderas de 50.040€.

Por lo tanto, el total de ingresos ordinarios anuales asciende a 85.320 €.

6.- Ingresos extraordinarios

Como ingresos extraordinarios se considera un valor residual del 15% de la ejecución del proyecto con IVA (44.753,80 €) que nos da la cantidad de 6.713,07 € en el último año de la vida útil del proyecto.

7.- Gastos financieros

Debido a que el presente proyecto es un diseño de modificación de una planta residual que, como se ha comentado en el apartado 5, ya está amortizada y todo lo que genera se asume como beneficio bruto y que los ingresos ordinarios de esta son lo suficientemente elevados; se asume que no se solicitará un crédito en ningún momento puesto que la inversión inicial es relativamente baja. Por lo tanto, no habrá gastos financieros.

8.- Estructura de flujos de caja

En la *Tabla A12.1* se calculan los flujos de caja anuales, sumando los ingresos y restando los gastos de cada año.

Tabla A12.1 Flujos de caja del proyecto

AÑO	INVERSIÓN	RETORNO	COSTES ORDINARIOS	INGRESOS	FLUJOS DE CAJA
0	42.370,20 €				- 42.370,20 €
1			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
2			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
3			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
4			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
5			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
6			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
7			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
8			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
9			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
10			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
11			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
12			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
13			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
14			80.697,87 €	85.320 €	4.622,13 €
15		6.713,07 €	80.697,87 €	85.320 €	11.335,20 €

9.- Índices de rentabilidad

9.1.- Valor Actual Neto (VAN)

Indica la ganancia neta o plusvalía generada por el proyecto. Para un tipo de interés o factor de homogeneización concreto (i) este valor actual neto se calcula mediante la Ec. A12.1.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} - I_0 \quad \text{Ec. A12.1}$$

Donde: VAN = Valor Actual Neto

R_j = Flujos de caja en cada período “j”

n = número de años de vida de la inversión

Un proyecto con un VAN mayor que cero, para el tipo de interés elegido, resulta viable desde el punto de vista financiero. Sin embargo, si el V.A.N. es negativo, el proyecto no será viable y quedará inmediatamente descartada su ejecución, ya que si se llevara a cabo, el inversor proporcionaría un número de unidades monetarias superior al que le proporcionaría el proyecto.

9.2.- Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto (VAN) es igual a cero. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión. El T.I.R. se calcula gracias a la ecuación Ec. A12.3.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+TIR)^j} - I_0 = 0 \quad \text{Ec. A12.3}$$

Donde: VAN = Valor actual neto para la tasa de actualización “i”

R_j = Flujos de caja en cada período “j”

TIR =Tasa Interna de Retorno

n = número de años de vida de la inversión

9.3.- Relación beneficio-inversión (Q)

Indica el porcentaje de beneficios obtenidos sobre la inversión realizada. Se calcula tal y como muestra la *Ec. A12.3*, realizando el cociente entre el VAN obtenido y la inversión que se ha realizado para la puesta en funcionamiento del proyecto:

$$Q = \frac{VAN}{Inversión} \quad Ec. A12.3$$

9.4.- Resultados obtenidos

Introduciendo los datos adecuados en las ecuaciones *A12.1*, *A12.2* y *A12.3*, se obtiene el VAN para cada tipo de interés que se valora así como la relación beneficio/inversión asociada y es posible calcular el TIR de la inversión. En la *Tabla A12.2* se recogen los resultados.

Tabla A12.2. Resultados obtenidos de los índices de rentabilidad

INTERÉS	VAN	Q
5	5.605,62	0,13
6	2.520,79	0,05
6,90%	0	0,00

TIR	<u>6,90%</u>
------------	--------------

De estos datos se deduce que la inversión es muy satisfactoria, con una tasa interna de retorno del 6,90 % y con el VAN siempre positivo para intereses inferiores a esta tasa.

Esto implica que el proyecto tiene una rentabilidad aceptable incluso sin solicitar un crédito inicial, la cual se debe a que, como se ha indicado anteriormente, es simplemente una modificación/sustitución por lo cual ya cuenta con otros beneficios económicos que nos aseguran que no habrá pérdidas. Por lo tanto, la recomendación de la realización del presente proyecto no solo se recomienda por los múltiples beneficios medioambientales sino también, obviamente, por su gran beneficio económico al producir, además del agua clarificada, otro producto de tan alto valor añadido.

9.5.- Plazo de recuperación

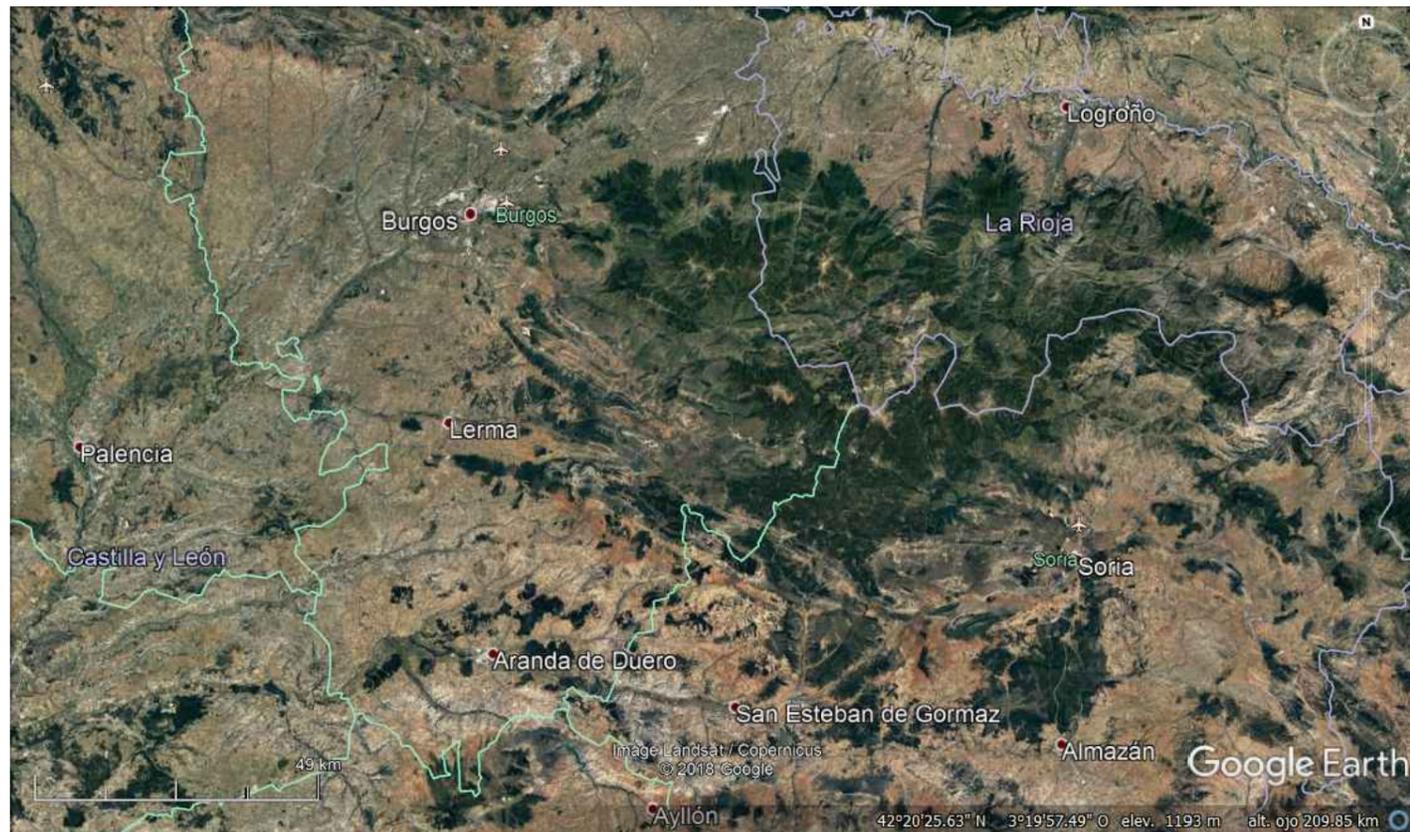
Mediante un cálculo básico de acumulación de flujos de caja, se calcula que la recuperación total de inversión se realizará a los 10 años.

Documento III:

PLANOS

ÍNDICE DEL DOCUMENTO III: PLANOS

Plano nº 1.	LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO
Plano nº 2.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS ETAPAS DE LA EDAR DE LERMA (BURGOS) CON TRATAMIENTO SECUNDARIO MODIFICADO
Plano nº 3.	DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS NUEVAS ETAPAS DE FOTOBIORREMEDIACIÓN
Plano nº 4.	DIAGRAMA DTI DE LAS NUEVAS ETAPAS DE FOTOBIORREMEDIACIÓN
Plano nº 5.	ALZADO, PLANTA Y PERFIL DEL REACTOR HRAP RACEWAY



LOCALIZACIÓN DE LERMA

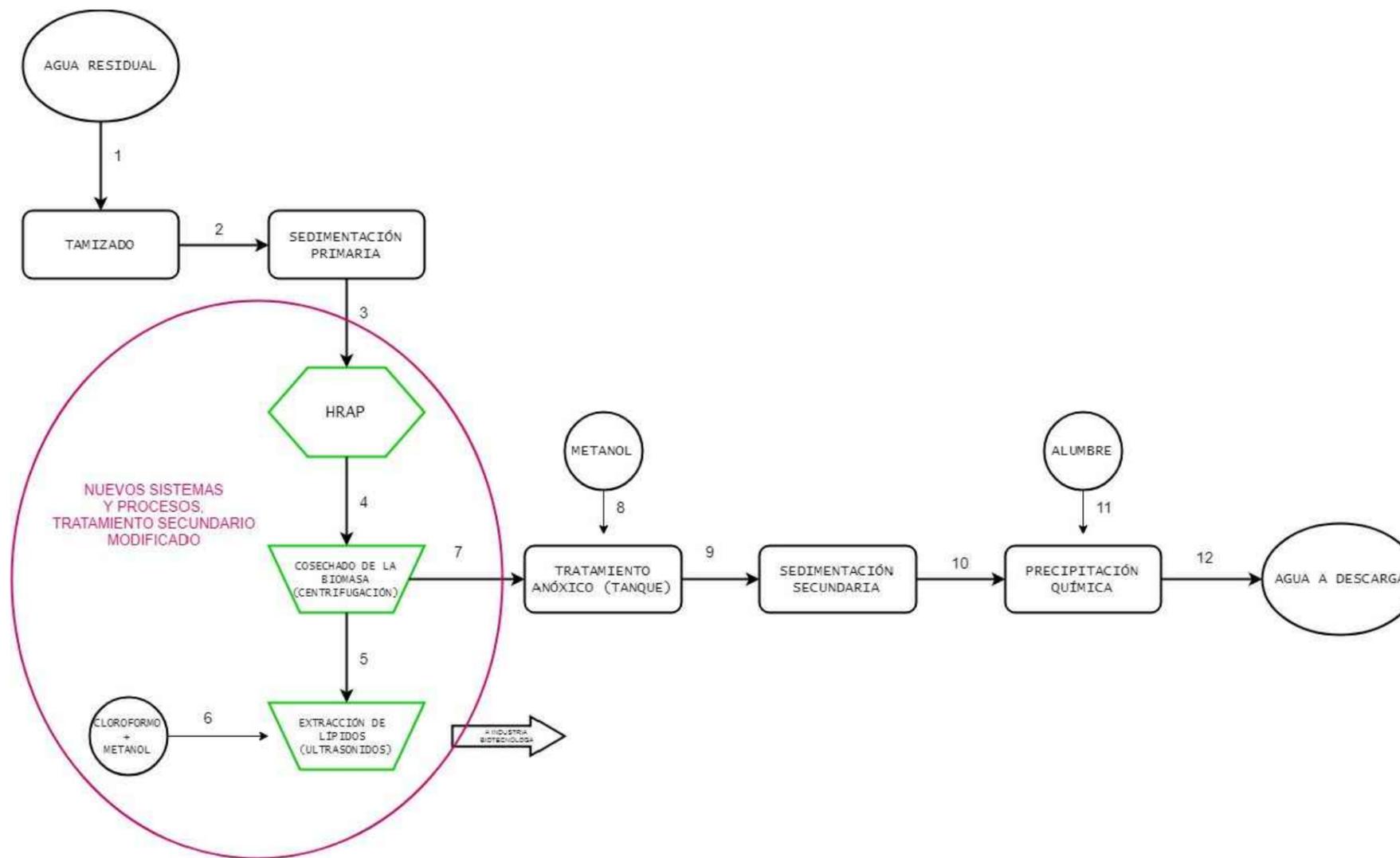


VISTA GENERAL DE LERMA



VISTA GENERAL DE LA EDAR

	<p>Uva - E. I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA GRADO EN INGENIERÍA AGRARIA Y ENERGÉTICA PROMOTOR: JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN</p>		
<p>TÍTULO: PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA EDAR DE LERMA (BURGOS) CON DISEÑO DE UN FOTOBIOREACTOR PARA CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS</p>			
<p>LOCALIZACIÓN: LERMA, BURGOS</p>		<p>ESCALA: SIN ESCALA</p>	
<p>FECHA: Julio 2018 FIRMA: ALUMNO: VIRGINIA ARAGUZO CARBALLERA</p>	<p>DENOMINACIÓN: LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO</p>		<p>PLANO N°: 1</p>



LEYENDA

1	EFLUENTE RESIDUAL A TAMIZ
2	EFLUENTE TAMIZADO A SEDIMENTADOR
3	EFLUENTE SEDIMENTADO AL REACTOR
4	SALIDA DEL REACTOR A LA CENTRÍFUGA
5	PASTA BIOLÓGICA
6	SOLVENTES QUÍMICOS
7	EFLUENTE CLARIFICADA A TANQUE ANÓXICO
8	METANOL
9	EFLUENTE DESNITRIFICADO A SEDIMENTADOR
10	EFLUENTE SEDIMENTADO A PRECIPITADOR QUÍMICO
11	ALUMBRE
12	AGUA CLARIFICADA



UVa - E. I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA AGRARIA Y ENERGÉTICA



PROMOTOR: JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN

TÍTULO: PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA EDAR DE LERMA (BURGOS) CON DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR PARA CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS

LOCALIZACIÓN: LERMA, BURGOS

ESCALA: SIN ESCALA

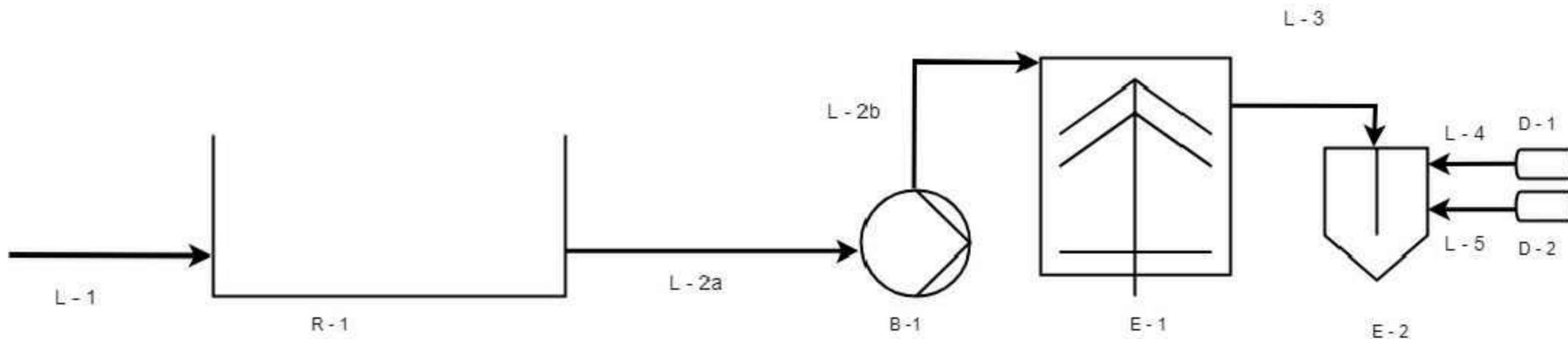
FECHA: Julio 2018
FIRMA:

ALUMNO: VIRGINIA
ARAGUZO CARBALLERA

DENOMINACIÓN:
DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS ETAPAS DE LA
EDAR DE LERMA (BURGOS) CON TRATAMIENTO
SECUNDARIO MODIFICADO

PLANO N°:

2



EQUIPOS		LÍNEAS DE CONEXIÓN		
R - 1	REACTOR HRAP RACEWAY	L - 1	EFLUNTE SEDIMENTADO	CORRIENTE 1
B - 1	BOMBA DE RACTOR A CENTRÍFUGA	L - 2a	SALIDA DEL REACTOR, ASPIRACIÓN B - 1	CORRIENTE 2a
E - 1	EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN	L - 2b	SALIDA DEL REACTOR, IMPULSIÓN B - 1	CORRIENTE 2b
E - 2	EQUIPO DE ULTRASONIDOS	L - 3	AGUA CLARIFICADA	CORRIENTE 3
D - 1	DEPÓSITO DE METANOL	L - 4	PASTA BIOMASA HÚMEDA	CORRIENTE 4
D - 2	DEPÓSITO DE CLOROFORMO	L - 5	METANOL	CORRIENTE 5
		L - 6	CLOROFORMO	CORRIENTE 6



UVa - E. I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA AGRARIA Y ENERGÉTICA

PROMOTOR: JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN



TÍTULO: PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA EDAR DE LERMA (BURGOS) CON DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR PARA CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS

LOCALIZACIÓN: LERMA, BURGOS

ESCALA: SIN ESCALA

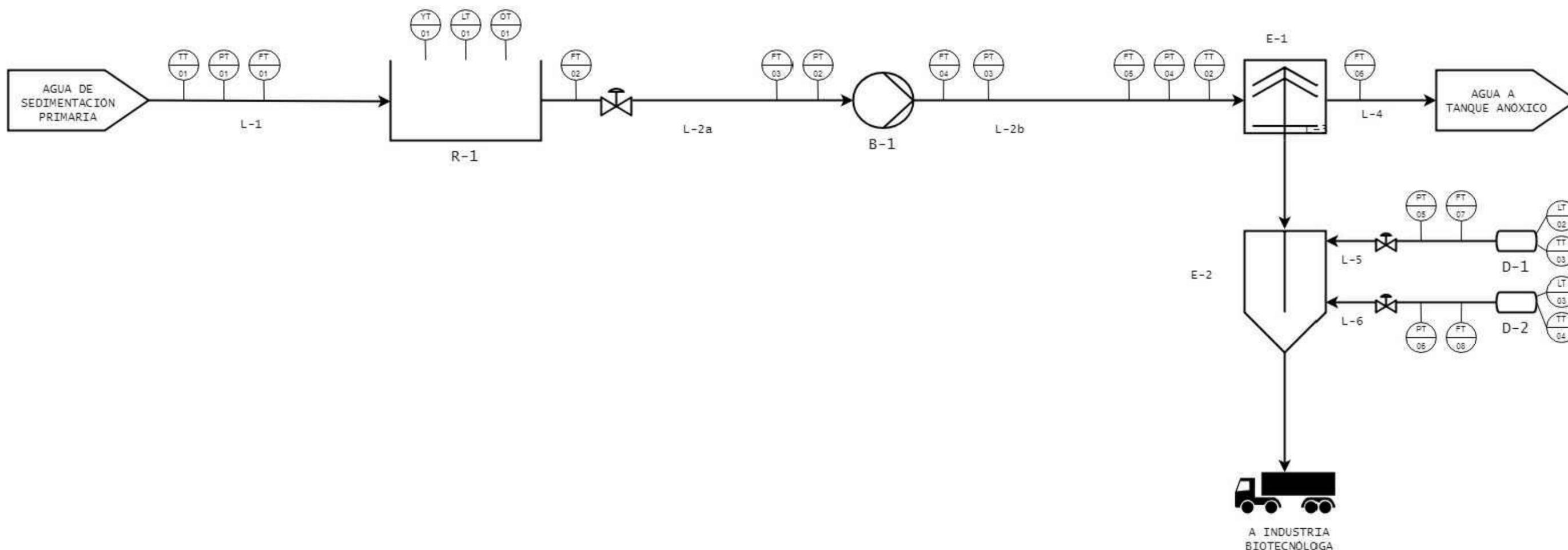
FECHA: Julio 2018
FIRMA:

ALUMNO: VIRGINIA
ARAGUZO CARBALLERA

DENOMINACIÓN:
DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS NUEVAS
ETAPAS DE FOTOBIORREMEDIACIÓN

PLANO N°:

3



EQUIPOS	
R - 1	REACTOR HRAP RACEWAY
B - 1	BOMBA DE RACTOR A CENTRÍFUGA
E - 1	EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN
E - 2	EQUIPO DE ULTRASONIDOS
D - 1	DEPÓSITO DE METANOL
D - 2	DEPÓSITO DE CLOROFORMO

LÍNEAS DE CONEXIÓN		
L - 1	EFLUNTE SEDIMENTADO	CORRIENTE 1
L - 2a	SALIDA DEL REACTOR, ASPIRACIÓN B - 1	CORRIENTE 2a
L - 2b	SALIDA DEL REACTOR, IMPULSIÓN B - 1	CORRIENTE 2b
L - 3	AGUA CLARIFICADA	CORRIENTE 3
L - 4	PASTA BIOMASA HÚMEDA	CORRIENTE 4
L - 5	METANOL	CORRIENTE 5
L - 6	CLOROFORMO	CORRIENTE 6

INSTRUMENTACIÓN	
TT	SENSOR DE TEMPERATURA
PT	SENSOR DE PRESIÓN
FT	SENSOR DE CAUDAL
LT	SENSOR DE NIVEL
YT	SENSOR DE pH
OT	SENSOR DE OXÍGENO DISUELTO
	VÁLVULA AUTOMÁTICA



UVa - E. I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA AGRARIA Y ENERGÉTICA

PROMOTOR: JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN



TÍTULO: PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA EDAR DE LERMA (BURGOS) CON DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR PARA CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS

LOCALIZACIÓN: LERMA, BURGOS

ESCALA: SIN ESCALA

FECHA: Julio 2018
FIRMA:

ALUMNO: VIRGINIA
ARAGUZO CARBALLERA

DENOMINACIÓN:
DIAGRAMA DTI DE LAS NUEVAS
ETAPAS DE FOTOBIORREMEDIACIÓN

PLANO N°:

4

PERFIL

ALZADO



PLANTA



UVa - E. I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA AGRARIA Y ENERGÉTICA



PROMOTOR: JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN

TÍTULO: PROYECTO DE MODIFICACIÓN DE LA EDAR DE LERMA (BURGOS) CON DISEÑO DE UN FOTOBIORREACTOR PARA CULTIVO DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS

LOCALIZACIÓN: LERMA, BURGOS

ESCALA: 1:300

FECHA: Julio 2018
FIRMA:

ALUMNO: VIRGINIA
ARAGUZO CARBALLERA

DENOMINACIÓN:
ALZADO, PLANTA Y PERFIL DEL
REACTOR HRAP RACEWAY

PLANO N°:

5

**Documento IV:
PLIEGO DE
CONDICIONES**

ÍNDICE DEL DOCUMENTO IV: PLIEGO DE CONDICIONES

1. Disposiciones generales	1
2. Pliego de condiciones de índole facultativas	2
2.1. Delimitación facultativa de funciones de los agentes intervinientes	2
2.2. Obligaciones y derechos del contratista o constructor	4
2.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares	6
2.4. Recepción y liquidación de la obra	9
3. Pliego de condiciones económicas	11
3.1. Base fundamental.....	11
3.2. Garantías de cumplimiento y fianzas	11
3.3. Precios y revisiones.....	13
3.4. Valoración y abono de los trabajos	15
3.5. Varios	17
4. Pliego de condiciones de índole legal	18
5. Pliego de condiciones técnicas	20

1.-DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. Objeto y naturaleza del pliego general

El presente Pliego de Condiciones tiene una naturaleza supletoria del Pliego de Condiciones Particulares del Proyecto. Tiene por objeto regular la ejecución de las obras del presente proyecto, modificación de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Lerma (Burgos) con instalación de un fotobiorreactor para producción de microalgas con fines energéticos; fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, según contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al promotor o titular de la obra, a los técnicos proyectistas y encargados, a los encargados del control de calidad, así como a las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

Artículo 2. Obras de presente proyecto

Se considerarán sujetas a las condiciones de este Pliego, todas las obras e instalaciones cuyas características, planos y presupuestos, se adjuntan en las partes correspondientes del presente Proyecto, así como todas las obras necesarias para dejar completamente terminadas todas las instalaciones con arreglo a los planos y documentos adjuntos.

Se entiende por obras accesorias aquellas que, por su naturaleza, no pueden ser previstas en todos sus detalles, sino a medida que avanza la ejecución de los trabajos. Estas se construirán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando su importancia lo exija, se construirán en base a los proyectos reformados que se redacten. En los casos de menos importancia, se llevarán a cabo conforme a la propuesta que formule el Directos de la Obra.

Artículo 3. Documentación que definen las obras

Los documentos que definen las obras y las instalaciones y que la propiedad entregue al Contratista, pueden tener carácter contractual o meramente informativo. Son documentos contractuales los Planos, Pliego de Condiciones y Presupuesto que se incluyan en el presente Proyecto. Los datos incluidos en la Memoria y Anejos tienen un carácter meramente informativo.

Cualquier cambio en el planteamiento de la Obra que implique un cambio sustancial respecto de lo proyectado deberá ponerse en conocimiento de la Dirección Técnica para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

Artículo 4. Compatibilidad y relación entre los documentos

En caso de contradicción entre Planos y Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en este último documento. Lo mencionado en los Planos y omitido en el Pliego de Condiciones o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

2.-PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVAS

2.1. Delimitación facultativa de funciones de los agentes intervinientes

Artículo 5. Director de la obra

La propiedad nombra en su representación a un Ingeniero Técnico Director de Obra, en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente Proyecto.

No será el responsable antes la propiedad de las tardanzas de los Organismos Competentes en la tramitación de Proyecto. La tramitación es ajena al Ingeniero Director, quien una vez conseguidos todos los permisos, dará la orden de comenzar la obras e instalaciones y el ritmo de las mismas.

Tendrá las siguientes funciones:

- a) Tener la titulación académica y profesional requerida para desempeñar la profesión.
- b) Verificar el replanteo y la adecuación de las instalaciones proyectadas a las características de la situación actual.
- c) Coordinar y dirigir la instalación de los sistemas.
- d) Asistir al pie de obra para resolver problemas eventuales que se produzcan y consignar en el Libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas para la correcta interpretación del proyecto.
- e) Elaborar, a requerimiento del promotor o con su conformidad, eventuales modificaciones del proyecto, que vengan exigidas por la marcha de la obra siempre que las mismas se adapten a las disposiciones normativas contempladas y observadas en la redacción del proyecto.
- f) Coordinar el programa de desarrollo del proyecto y la calidad de las instalaciones, con sujeción a la normativa vigente y a las especificaciones del proyecto.
- g) Comprobar los resultados de los análisis e informes realizados por laboratorios y/o entidades de control de calidad.
- h) Coordinar la intervención a la obra de otros técnicos competentes.
- i) Dar conformidad a las certificaciones parciales de obra a la liquidación total.
- j) Redactar el acta de replanteo o comienzo y de fin de la disposición e instalación de sistemas y equipos.
- k) Preparar con el contratista la documentación gráfica y escrita del proyecto definitivamente ejecutado para entregarlo a Promotor.

Artículo 6. El director de la ejecución de la obra

Es el Ingeniero Técnico, formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución, equipos y materiales de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la instalación de los sistemas.

Sus obligaciones son:

- a) Estar en posesión de la titulación académica y profesional para poder ejercer el puesto de trabajo.
- b) Verificar la recepción en obra de los equipos de instalación, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.
- c) Dirigir la ejecución material de las instalaciones, comprobando los replanteos, los equipos, la correcta ejecución y disposición de los elementos y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del Director de obra.
- d) Consignar en el Libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas.
- e) Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de disposición e instalaciones de sistemas y equipos y el certificado de final, así como elaborar y suscribir las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades ejecutadas.
- f) Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de las instalaciones ejecutadas, aportando los resultados del control realizado.

Artículo 7. Contratista o constructor

El contratista o constructor proporcionará toda clase de facilidades para que el Ingeniero Director, o sus subalternos, puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia. Sus obligaciones son:

- a) Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción del proyecto.
- b) Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de la buena instalación. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo lo personal que intervenga en la obra y coordina las intervenciones de los subcontratistas.
- c) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los sistemas, equipos y elementos que se utilicen, comprobando sus características y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del ejecutor o ingeniero técnico, los elementos que no cuenten con garantías o documentos de idoneidad requeridos para su instalación.
- d) Custodiar los Libros de órdenes y seguimiento del establecimiento del Proyecto, así como lo de seguridad y salud y el de control de calidad si los hubiera, y dar el enterado a las anotaciones que en ellos se apunten.
- e) Facilitar al ejecutor o al ingeniero técnico con antelación suficiente, los equipos y elementos precisos para el cumplimiento de su cometido.
- f) Preparar las certificaciones parciales de ejecución y la propuesta de liquidación de obra.
- g) Suscribir con el promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- h) Concertar los seguros de accidentes de trabajo y daños a terceros durante la obra.
- i) Facilitar al Director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la instalación ejecutada.
- j) Facilitar el acceso a los laboratorios y entidades de control y calidad, contratados y debidamente homologados para la realización de sus funciones.
- k) Suscribir las garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción previstas en el artículo 11 de la LOE.

2.2.- Obligaciones y derechos del contratista o constructor

Artículo 8. Remisión de solicitud de ofertas

Por la Dirección Técnica se solicitarán ofertas a las Empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones especificadas en el presente Proyecto; para lo cual se pondrá a disposición de los ofertantes un ejemplar del citado Proyecto o un extracto con los datos suficientes. En el caso de que el ofertante lo estime de interés, deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación.

El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

Artículo 9. Verificación de los documentos del proyecto

El Constructor o Contratista deberá verificar la documentación relacionada con el proyecto y comunicar al Director de la obra de cualquier problema surgido.

Artículo 10. Plan de seguridad e higiene

El Constructor o Contratista presentará el Plan de seguridad e higiene de la obra a la aprobación del Director de la dirección facultativa.

Artículo 11. Oficina en la obra

Se habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina el Contratista tendrá siempre a disposición del Director de obra la de Dirección facultativa:

- a) El proyecto de ejecución completo, incluidos los complementos que en su caso redacte el Ingeniero proyectista o Director de la obra.
- b) La licencia de obras.
- c) El Libro de órdenes y asistencias.
- d) El Plan de seguridad e higiene.
- e) El libro de incidencias.
- f) El Reglamento y ordenanza de seguridad e higiene en el trabajo.
- g) La documentación de los seguros mencionados en el Artículo 1.7.

En la oficina se realizará también la Dirección facultativa, que estará convenientemente acondicionada para que en ella se pueda trabajar con normalidad a cualquier hora de la jornada.

Artículo 12. Presentación del contratista

El Constructor o Contratista viene obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la instalación de la obra, que tendrá carácter de Jefe de la misma, con dedicación plena, y con facultadas para representarle y adoptar en todo momento cuantas decisiones competan a la contrata.

Cuando la importancia de las instalaciones lo requiera y así se consigne en el Pliego de Condiciones Particulares de Índole Facultativa, el Delegado del contratista será un facultativo de grado superior o grado medio, según los casos.

El Pliego de Condiciones Particulares determinará el personal facultativo o especialista que el Contratista obligue a mantener en la obra como mínimo y el tiempo de dedicación comprometido.

El incumplimiento de esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficientes por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al Director de la obra para ordenar la paralización de la misma, sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

Artículo 13. Presencia del constructor en la obra

El Jefe de instalación de obra, por sí mismo o por medio de sus técnicos encargados, deberá estar presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de obra en las visitas que haga en la ejecución del Proyecto, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándoles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

Artículo 14. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o esquemas, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al Constructor, estando éste obligado a su vez a devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba del Director de obra.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos, crea oportuno hacer el Constructor, habrá que dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiera dictado, el cual dará al Constructor el correspondiente recibo.

Artículo 15. Requerimientos del constructor

El Constructor podrá requerir al Director de la obra las instrucciones o aclaraciones que precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

Artículo 16. Reclamaciones contra las órdenes del director

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas del Ingeniero Director, solo podrá presentarlas a través del mismo ante la propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes.

Contra disposiciones de orden técnico o facultativo del Ingeniero Director, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida al Ingeniero Director, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en todo caso, será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

Artículo 17. Despido por insubordinación, incapacidad o mala fe

Por falta de cumplimiento de las instrucciones del Ingeniero Director o sus subalternos de cualquier clase, encargados de la vigilancia de la ejecución; por manifiesta incapacidad o por actos que comprometan y perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de sustituir a sus dependientes y operarios, cuando el Ingeniero Director lo reclame.

Artículo 18. Falta del personal

El Director de la obra, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometa o perturbe la marcha de los trabajos, podrá requerir al Contratista que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

Artículo 19. Personal contratado

El Contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, son sujeción en su caso a lo estipulado en el Pliego de Condiciones Particulares, y sin perjuicio de sus obligaciones como Contratista general de la obra.

Artículo 20. Copia de los documentos

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa, de los Pliegos de Condiciones, presupuestos y demás documentos de la contrata. El Director de obra, si el Contratista solicita estos, autorizará las copias después de contratadas las obras.

2.3.- Trabajos, materiales y medios auxiliares

Artículo 21. Replanteo

Antes del comienzo del establecimiento de las instalaciones, el Ingeniero Director junto al Contratista o su representante, procederá al replanteo general de la obra. El Constructor se hará cargo de las señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo y se iniciarán las obras con las mismas. Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta.

El Director de obra podrá realizar u ordenar cuantos replanteos parciales considere necesarios durante el período de ejecución para que las instalaciones se implanten conforme al Proyecto y a las modificaciones del mismo ya sean aprobadas.

Artículo 22. Libro de órdenes

En la casilla y oficina de la obra, tendrá en Contratista, el Libro de órdenes en el que se anotarán las que el Ingeniero Director de obra precisa dar en el transcurso de la misma.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho libro, es tan obligatorio para el Contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones.

Artículo 23. Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación: previamente se habrá suscrito el acta de replanteo en las condiciones establecidas en el Artículo 1.21.

El adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dará cuenta al Ingeniero Director, mediante oficio, del día en que propone iniciar los trabajos, debiendo éste dar acuse de recibo.

Las obras quedarán terminadas dentro del plazo de seis meses.

El Contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la Reglamentación Oficial del Trabajo.

Artículo 24. Condiciones generales de ejecución de los trabajos.

El Contratista, como es natural, debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas en las Condiciones Generales de índole Técnica y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales y equipos empleados o colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que el Ingeniero Director o sus subalternos no le han llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abandonan a buena cuenta.

Artículo 25. Facilidades para otros contratistas

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista General deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que les sean delegados a los demás contratistas que intervengan en la obra. En caso de recurso, ambos contratistas estarán a los que resuelva la Dirección Facultativa.

Artículo 26. Ampliación y prórroga del proyecto por causas imprevistas

Por un imprevisto o accidente y sea necesaria la ampliación del proyecto, no se suspenderán los trabajos, continuándose según las instrucciones dadas por el Director de la obra.

Artículo 27. Ampliación y prórroga del proyecto por fuerza mayor

Si por causa mayor o independiente de la voluntad del Constructor, éste no pudiese comenzar la ejecución del Proyecto, o tuviese que suspenderla, o no le fuera posible terminarla en los plazos prefijados, se otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

Artículo 28. Responsabilidad de la dirección del retraso de la obra

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se lo hubiesen proporcionado.

Artículo 29. Trabajos defectuosos

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales o equipos empleados o colocados no reúnan las condiciones perpetuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la instalación, podrán disponer que los sistemas defectuosos sean eliminados y sustituidos de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si esta no estimase justa la resolución y se negase la modificación de la instalación, se procederá de acuerdo con lo establecido en el artículo 31.

Artículo 30. Obras y vicios ocultos

Si el Director de obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos en el establecimiento de las instalaciones, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las sustituciones que crea necesarias para reconocer los equipos que supongan defectuosos.

Artículo 31. Materiales y equipos no utilizables o defectuosos

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos y máquinas sin que antes sean examinados y aceptados por el Director de obra, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos las comprobaciones perceptuadas en el Pliego de Condiciones.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc., antes indicados serán a cargo del Contratista.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Directo de obra dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliegos o, a falta de estos, a las órdenes del Directo.

Artículo 32. Medios auxiliares

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos y máquinas auxiliares sin que antes sean examinados y aceptados por el Ingeniero Directos, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones, vigente en la obra.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc., antes indicados serán a cargo del Contratista.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Directo de obra dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliegos o, a falta de estos, a las órdenes del Directo.

2.4.- Recepción y liquidación de la obra

Artículo 33. Recepciones provisionales

Para proceder a la recepción provisional de las instalaciones será necesaria la asistencia del Propietario, del Ingeniero Director de la obra y del Contratista o su representante debidamente autorizado.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas las instalaciones con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por percibidas provisionalmente comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía, que se considerará de dos meses.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar en el actas y se especificarán en la misma las precisas y detalladas las instrucciones que el Ingeniero Director debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijándose un plaza para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Después de realizar un escrupuloso reconocimiento y si la instalación estuviese conforme con las condiciones de este pliego, se levantará un acta por duplicado, a la que acompañarán los documentos justificantes de la liquidación final. Una de las actas quedará en poder de la propiedad y la otra se entregará al Contratista.

Artículo 34. Plazo de garantía

Desde la fecha en la que la recepción provisional quede hecha, comienza a contarse el plazo de garantía que será de seis meses. Durante este período, el Contratista se hará cargo de todas aquellas reparaciones de desperfectos imputables y vicios ocultos.

Artículo 35. Documentación final de obra

El Directo de obra facilitará a la Propiedad la documentación final de la obra, con las distinciones y contenido dispuesto por la legislación vigente.

Artículo 36. Conservación de las obras recibidas provisionalmente

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre la recepción provisional y definitiva, correrán a cargo del Contratista.

Artículo 37. Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de las instalaciones no hayan sido utilizadas por el Propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuere menester para su buena conservación, abandonándose todo aquello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el Contratista las instalaciones, tanto por buena terminación de la obra, como por rescisión del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el Ingeniero Directo fije.

Después de la recepción provisional de la instalación y en el caso de que la conservación de la misma corra a cargo de Contratista, no deberá haber en ella más herramientas, útiles, materiales, máquinas, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuere preciso realizar.

En todo caso, ocupadas o no las instalaciones, está obligado el Contratista a revisar y repasar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente Pliego de Condiciones Económicas.

El Contratista se obliga a destinar a su costa a un vigilante de la obra que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

Artículo 38. Recepción definitiva

Terminado el plazo de garantía, se verificará la recepción definitiva con las mismas condiciones que la provisional, y si las instalaciones están bien conservadas y en perfectas condiciones, el Contratista quedará relevado de toda responsabilidad económica; en caso contrario se retrasará la recepción definitiva hasta que, a juicio del Ingeniero Directo de obra, y dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y la forma que se determinan en este Pliego.

Si el nuevo reconocimiento resultase que el Contratista no hubiese cumplido, se declarará descendida la contrata con pérdidas de la fianza, a no ser que la propiedad crea conveniente conceder un nuevo plazo.

Artículo 39. Liquidación final

Terminadas las obras, se procederá a la liquidación fijada que incluirá el importe de las unidades de obra realizadas y las que constituyen modificaciones del Proyecto, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la Dirección Técnica con sus precios. DE ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de trabajos que no estuviese autorizados por escrito a la Entidad propietaria con el visto bueno del Ingeniero Directo.

Artículo 40. Liquidación en caso de rescisión

En este caso la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de rescisión.

3.- PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

3.1.- Base fundamental

Artículo 41. Base fundamental

Como base fundamental de estas Condiciones Generales de Índole Económica, se establece el principio de que el Contratista debe recibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que éstos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y Condiciones Generales y Particulares que rijan la instalación de los equipos.

3.2.- Garantías de cumplimiento y fianzas

Artículo 42. Garantías de cumplimiento

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del Contrato; dichas referencias, si le son pedidas, las presentará el Contratista antes de la firma del contrato.

Artículo 43. Fianza

Se podrá exigir al Contratista para que responda del cumplimiento de lo contratado, una fianza del 10% del presupuesto de la obra adjudicada.

Artículo 44. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero Director, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercer, o directamente por administración, abandonando su importe con la fianza depositadas, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

Artículo 45. Devolución de la fianza

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificado de la Junta de Castilla y León del Distrito Municipal en cuyas propiedades se emplaza la instalación contratada, que no existe reclamación alguna contra ella por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de los jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

3.3.- Precios y revisiones

Artículo 46. Composición de precios unitarios

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, indirectos, gastos generales y beneficio industrial.

Se considerarán Costes Directos:

- a) La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en el establecimiento de las instalaciones.
- b) Los materiales, a precios resultantes, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- c) Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades provisionales.
- d) Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas para la realización de los trabajos.
- e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos efectuados.

Se considerarán Coste Indirectos:

- a) Los gastos de instalación de oficina a pie de obra, comunicaciones, casetas auxiliares, etc.
- b) Los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos.
- c) Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

Se consideran Gastos Generales los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidos, se cifrarán con un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos entre 13 – 17% por ser Administración pública.

El Beneficio Industrial del Contratista se establece en el 6% sobre la suma de las anteriores partidas.

Se denomina Precio de Ejecución material al resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción de Beneficio Industrial.

El Precio de la Contrata es la suma de los Costes Directos, Indirectos, el Beneficio Industrial y los Gastos Generales.

Artículo 47. Precios contradictorios

Si ocurriese algún caso de virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma:

El Adjudicatario formulará por escrito y bajo su firma el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.

La Dirección Técnica estudiará el que, según su criterio, debe utilizarse.

Si ambos son coincidentes, se formulará por la Dirección Técnica el Acta de Avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.

Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, el Sr. Director propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatorio del precio exigido por el Adjudicatario o, en otro caso, la segregación de la instalación nueva, para ser ejecutada por administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de proceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo ya se hubiese comenzado, el Adjudicatario estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarse el Sr. Director y a concluir a satisfacción de este.

Artículo 48. Reclamaciones de aumento de precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error y omisión, reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de la instalación.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en las indicaciones que, sobre las instalaciones, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión del contratado, señalados en

los documentos relativos a las Condiciones Generales o Particulares de Índice Facultativa, sino en el caso de que el Ingeniero Directo o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de dos meses desde la fecha de adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha por la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, pues esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

Artículo 49. Revisión de precios

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello, que no se deba admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que es característica de determinadas épocas anormales, se admite, durante ellas, la revisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en anomalía con las oscilaciones de los precios en el mercado.

Por ello y en los casos de revisión en alza, el Contratista puede solicitarla del Propietario, en cuanto se produzca cualquier alteración de precio, que repercuta, aumentando los contratos. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado, y por causa justificada, especificándose y acordándose, también, previamente, la fecha a partir de la cual se aplicará el precio revisado y elevado, para lo cual se tendrá en cuanto y cuando sí proceda, el acopio de materiales de obra, en el caso de que estuviesen total o parcialmente abandonados por el propietario.

Si el propietario o el Ingeniero Director, en su representación, no tuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., que el Contratista desee percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad proponer al Contratista, y éste la obligación de aceptarlos, los materiales transportes, etc., a precios inferiores a los pedidos por el Contratista, en cuyo caso lógico y natural, se tendrán en cuenta para la revisión, los precios de los materiales, transportes, etc., adquiridos por el Contratista merced a la información del propietario.

Cuando el propietario o el Ingeniero Director, en su representación, no estuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., concertará entre las dos partes la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la obra, en equidad por la experimentada por cualquiera de los elementos constitutivos de la unidad de obra y la fecha en que empezarán a regir los precios revisados.

Cuando, entre los documentos aprobados por ambas partes, figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de los precios.

Artículo 50. Elementos comprendidos en el presupuesto

Al fijar los precios de las diferentes unidades de obra en el presupuesto, se ha tenido en cuenta el importe de transporte, elevación y fijación del materia, es decir, todos los correspondientes medios auxiliares de la construcción, así como toda suerte de indemnizaciones, impuestos, multas o pagos que tengan que hacerse por cualquier concepto, con los que se hallen gravados o se graven los materiales o los equipos por el Estado, Provincia o Municipio.

Por esta razón no se abonará al Contratista cantidad alguna por dichos conceptos.

En el precio de cada unidad también se comprenden los materiales y operaciones accesorios para dejar el proyecto completamente terminado y en disposición de recibirse.

3.4.- Valoración y abono de los trabajos

Artículo 51. Valoración de la obra

La medición de la obra concluida se hará por el tipo de unidad fijada en el presente documento de Presupuesto.

La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra el precio que tuviese asignado en el Presupuesto, elidiendo a este importe el de los porcentajes que correspondan al beneficio industrial y descontando el porcentaje que corresponda a la baja en la subasta hecha por el Contratista.

Artículo 52. Mediciones parciales y finales

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de cuyo acto se levantará un acto por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminadas las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición en los documentos que le acompañan, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber conformidad lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

Artículo 53. Equivocaciones en el presupuesto

Se supone que el Contratista ha hecho un detenido estudio de los documentos que componen el presente Proyecto, y por tanto al no haber hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios de tal suerte, que la obra ejecutado con arreglo al Proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

Artículo 54. Valoración de obras incompletas

Cuando por consecuencia de rescisión u otras causas, fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del Presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola en forma distinta a la establecida en dicho documento.

Artículo 55. Carácter provisional de las liquidaciones parciales

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final. No suponiendo tampoco dichas certificaciones ni aprobación ni recepción de las obras que comprenden la propiedad, se reserva en todo momento y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la ejecución de la instalación, a cuyo efecto deberá presentar el contratista los comprobantes que se exijan.

Artículo 56. Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá, precisamente, al de las certificaciones de instalación expedidos por el Ingeniero Director, en virtud de las cuales se verifican estos.

Artículo 57. Suspensión por retraso de pagos

En ningún caso podrá el Contratista, aleando retraso en los pagos, suspender trabajos ni ejecutarlo a menor ritmo del que les corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

Artículo 58. Indemnización por retraso de los trabajos

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista por causas de retraso no justificado, en el plazo de finalización de la instalación contratada, será el importe de la suma de perjuicios materiales causados por imposibilidad de ocupación de la planta, debidamente justificados.

Artículo 59. Indemnización por daños de causa mayor al Contratista

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas, averías o perjuicio ocasionados en las obras, sino en casos de fuerza mayor. Para los efectos de este Artículo, se considerarán como tales casos únicamente los siguientes:

- a) Los incendios causador por electricidad atmosférica, tormenta eléctrica.
- b) Los daños producidos por terremotos y/o maremotos.
- c) Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de ríos superiores a las que sean previsibles en el país, y siempre que existe constancia inequívoca de que el Contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus

- medios, para evitar o atenuar los daños.
- d) Los que provengan de movimientos del terrenos en que estén establecidas las instalaciones.
 - e) Los destrozos ocasionados violentamente, a manos armada, en tiempo de guerra, movimientos sediciosos populares o robos tumultuosos.

La indemnización se referirá, exclusivamente, al abono de las unidades de obra e instalación ya ejecutadas o materiales y equipos acopiados en la zona; en ningún caso comprenderá medios auxiliares, maquinaria o instalaciones, etc., propiedad de la Contrata.

3.5.- Varios

Artículo 60. Mejora de las instalaciones

No se admitirán mejora en la disposición de la nueva instalación más que en el caso de que el Ingeniero Director haya ordenado por escrito la ejecución de esos nuevos trabajos o que mejore significativamente la calidad de los contratados, así como la de los materiales, aparatos, equipos y máquinas previstos en el Contrato. Tampoco se admitirán aumento de instalación en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del presente Proyecto, a menos que el Ingeniero Director ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

Artículo 61. Seguro de los trabajos

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada, durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá, en todo momento, con el valor que tengan, por Contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en caso de siniestro, se ingresará a su cuenta, a nombre del Propietario para que, con cargo a ella, se abone a la obra que se instale y a medida que éste se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la instalación. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecha en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres ajenos a los de la construcción de la parte siniestrada. La infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir de la contrata, con devolución de la fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no le hubiesen abonado, pero solo en proporción equivalente a los que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Ingeniero Director.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguros, los pondrá el Contratista antes de contratarlos en conocimiento del presente Proyecto, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

4.- PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

Artículo 62. Disposiciones a tener en cuenta

Ley 13/1995, de Contratos de las Administraciones Públicas, de 18 de Mayo.

Reglamento General de Contratación para aplicación de dicha Ley, aprobado por Decreto 3410/1974, de 25 de Noviembre.

Resolución de 14 de Junio de 2001, de la Secretaría General del Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, 1 de Junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas residuales 2001 – 2006

Ley de Aguas 1/2001, de 20 de Julio sobre el uso racional del agua, lucha contra la contaminación, valores máximos y canon de vertido.

Real Decreto 1620/2007, de 7 de Diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Presión y Normas MIBT complementarias.

Artículo 63. Jurisdicción

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir durante o después de los trabajos, las partes se someterán a juicio de amigables componedores nombrados en número igual por ellas y presidido por la Dirección de la Obra, en último término, a los Tribunales de Justicia del lugar en que radique la propiedad, con expresa renuncia del fuero domiciliario. El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el Contrato y en los documentos que compone el Proyecto. El Contratista se obliga a lo establecido en la ley de Contratos de Trabajo y además a lo dispuesto por la de Accidentes de Trabajo, Subsidio Familiar y Seguros Sociales. Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando de la conservación de sus líneas del lindero y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiese, no se realicen durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad. Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento de la Dirección de la Obra. El Contratista es responsable de toda falta relativa a la política Urbana y a las Ordenanzas Municipales a estos aspectos vigentes en la localidad en que la edificación está emplazada.

Artículo 64. Accidente de trabajo y daños a terceros.

En casos de accidentes ocurridos con motivo y en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atendrá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su cumplimiento y sin que por ningún concepto, pueda quedar afectada la Propiedad por responsabilidades.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes, no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

De los accidentes o perjuicios de todo género que, no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será éste el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales. El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir, cuando ello fuera requerido, el justificante de tal cumplimiento.

Artículo 65. Pago de arbitrios

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras por concepto inherente a los propios trabajos que se realizan correrá a cargo de la Contrata, siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, el Contratista deberá ser reintegrado del importe de todos aquellos conceptos que la Dirección de Obra considere justo hacerlo.

Artículo 66. Causas de rescisión del contrato

Se considerarán causas suficientes de rescisión las que a continuación se señalan:

- a) La muerte o incapacidad del Contratista.
- b) La quiebra del Contratista.
- c) En los casos anteriores, si los herederos o síndicos ofrecieran de llevar a cabo las obras, bajo las mismas condiciones estipuladas en el Contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan aquellos derecho a indemnización alguna.
- d) Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes:
- e) La modificación del Proyecto en forma tal que presente alteraciones fundamentales del mismo, a juicio de la Dirección de Obra y, en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente, en más o menos del 40 %, como mínimo, de algunas unidades del Proyecto modificadas.
- f) La modificación de unidades de obra, siempre que estas modificaciones representen variaciones en más o menos, del 40 %, como mínimo de las unidades del Proyecto modificadas.
- g) La suspensión de la obra comenzada y, en todo caso, siempre que, por causas ajenas a la Contrata, no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses, a partir de la adjudicación, en este caso, la devolución de la fianza será automática.
- h) La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido un año.

- i) El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.
- j) El incumplimiento de las condiciones del Contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de la obra.
- k) La terminación del plazo de ejecución de la obra, sin haberse llegado a ésta.
- l) El abandono de la obra sin causa justificada.
- m) La mala fe en la ejecución de los trabajos.

5.- PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

Artículo 67. Especificaciones particulares de los equipos

Los equipos y sistemas que serán instalados han sido discutidos y decididos en los Anejos correspondientes, especificando en cada uno de ellos el origen de su posesión, compra en el mercado o fabricación propia, y sus características técnicas.

Los equipos deben entregarse con las pruebas de correcta operación que correspondan realizadas de forma satisfactoria y su instalación solo será decepcionada cuando se demuestre que todos los equipos de la línea de proceso y dispositivos de control del mismo funcionen perfectamente.

Las especificaciones de los equipos serán de origen propio del presente Proyecto, presentes en los Anejos correspondientes, o de la casa de compra

Artículo 68. Materiales para los equipos

Los materiales empleados para la fabricación de equipos o para su adquisición, vienen especificados en sus respectivos anejos, destacando el uso polietileno blanco, PVC y acero de carbono así como acero inoxidable para la mayoría de los equipos adquiridos en el mercado. Estos materiales estarán sujetos a las normas correspondientes para cada uno de ellos, siendo de mayor importancia y seguridad las siguientes:

UNE 10240/1998: Recubrimientos de protección internos y/o externos para tubos de acero. Especificaciones para recubrimientos galvanizados en caliente aplicados en plantas automáticas.

UNE-CEN/TR 15729:2014 IN: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Plásticos termoestables reforzados con fibra de vidrio basados en resinas de poliéster insaturado. Informe sobre la determinación de la abrasión media tras un número definido de ciclos del ensayo.

UNE-EN 13121/2004: Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzados con fibra de vidrio. Modificaciones de 2009 + A1/2010 y AC/2012. Modificaciones de 2005 + AC/2007.

UNE-EN 14364:2015: Sistemas de canalización en materiales plásticos para evacuación y saneamiento con o sin presión. Plásticos termoendurecibles reforzados con vidrio (PRFV) a base de resina de poliéster insaturado (UP). Especificaciones para tuberías, accesorios y uniones.

UNE-EN ISO 10062:2009 Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales con muy bajas concentraciones de gases contaminantes.

UNE-EN ISO 1461:2010: Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.

UNE-EN ISO 1463:2005: Recubrimientos metálicos y capas de óxido. Medida del espesor. Método de corte micrográfico.

UNE-EN ISO 21787:2007: Válvulas industriales. Válvulas de globo de materiales termoplásticos.

UNE-EN ISO 7441:1996: Corrosión de los metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bimetalica mediante ensayos de corrosión en medio exterior.

Artículo 69. Aparatos y maquinaria

Las normas a las que se encuentran sujetos todos los aparatos y la maquinaria se encuentran en el catálogo de Normas UNE de 1992.

Artículo 70. Condiciones de ejecución

Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo e instalación, medición, valoración y mantenimiento serán establecidos en las Normas NBE y NTE, así como las correspondientes, si procede, a equipos, materiales o maquinaria.

Documento V: PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL DOCUMENTO V: PRESUPUESTO

Capítulo 1.	MEDICIONES
Capítulo 2.	PRESUPUESTO Y MEDICIONES
Capítulo 3.	CUADRO DE MANO DE OBRA
Capítulo 4.	CUADRO DE MAQUINARIA
Capítulo 5.	CUADRO DE MATERIALES
Capítulo 6.	CUADRO DE PRECIOS Nº1
Capítulo 7.	CUADRO DE PRECIOS Nº2
Capítulo 8.	RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Capítulo 1.

MEDICIONES

1.-FOTOBIORREACTOR

Nº	Ud	Descripción	Medición
1.1.- REACTOR			
1.1.1	M2	Impermeabilización con lámina sintética de polietileno clorado y copolímeros de etileno, con armadura de poliéster de alta densidad y espesor de 2 mm., sistema flotante, anclada al perímetro y soldada con soplete entre sí.	
			Total m2: 1.295,120
1.2.- AIREADOR			
1.2.1	1	AIREADOR MAOFMADAN 1 HP 2 IMPELLER	
			Total 1: 1,000

2.- CENTRÍFUGA

Nº	Ud	Descripción	Medición
2.1	1	EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN	
Total 1:			1,000

3.- EQUIPO DE ULTRASONIDOS

Nº	Ud	Descripción	Medición
3.1	1	EQUIPO DE ULTRASONICACIÓN	
			Total 1: 1,000
3.2	1	DEPOSITOS	
			Total 1: 1,000

4.- FONTANERÍA

Nº	Ud	Descripción	Medición
4.1.- TUBOS GALVANIZADOS CON SOLDADURA			
4.1.1	M.	Tubo acero galvan.S.3/8" DN10 mm.	
			Total m.: 1,000
4.2.- TUBOS PVC PRESIÓN ABASTECIMIENTO			
4.2.1	M.	Tubo PVC pres.j.peg.63mm.10 atm.	
			Total m.: 6,000
4.3.- TUBOS PVC SERIE F (EVAC.PLUV.)			
4.3.1	M.	Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 75 mm.	
			Total m.: 0,350
4.3.2	M.	Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 90 mm.	
			Total m.: 0,350
4.3.3	M.	Tubo PVC evac.pluv.j.peg.125 mm.	
			Total m.: 3,000
4.4.- PIEZAS ESPEC.PVC PRESIÓN ABASTE.			
4.4.1	Ud	Codo PVC presión de 63 mm	
			Total ud: 1,000
4.5.- VÁLVULAS DE ESFERA			
4.5.1	Ud	Válvula esfera latón níquel.3/8"	
			Total ud: 2,000
4.5.2	Ud	Válvula esfera PVC roscad.1 1/2"	
			Total ud: 1,000
4.6.- BOMA 1/2 CV			
4.6.1	1	BOMBA CENTRÍFUGA VULCANO ECM-050	
			Total 1: 1,000
4.7	1	MANO DE OBRA DE FONTANERÍA	
			Total 1: 20,700

5.- SEGURIDAD Y CONTROL

Nº	Ud	Descripción	Medición
5.1	1	CONTROLES Y ENSAYOS	
			Total 1: 1,000
5.2	1	SEGURIDAD	
			Total 1: 1,000

Soria, Julio de 2018
Estudiante de Ingeniería Agraria y Energética
Virginia Aragozo Carballera

Capítulo 2.

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

1.- FOTOBIOREACTOR

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
1.1.- REACTOR						
1.1.1	M2	Impermeabilización con lámina sintética de polietileno clorado y copolímeros de etileno, con armadura de poliéster de alta densidad y espesor de 2 mm., sistema flotante, anclada al perímetro y soldada con soplete entre sí.				
			Total m2	1.295,120	18,44	
					<u>23.882,01</u>	
				Total subcapítulo 1.1.- REACTOR: 23.882,01		
1.2.- AIREADOR						
1.2.1	1	AIREADOR MAOFMADAN 1 HP 2 IMPELLER				
			Total 1	1,000	593,08	
					<u>593,08</u>	
				Total subcapítulo 1.2.- AIREADOR: 593,08		
			Total presupuesto parcial nº 1 FOTOBIOREACTOR :			24.475,09

2.- CENTRÍFUGA

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
2.1	1	EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN			
			Total 1	1,000	4.425,66
			Total presupuesto parcial nº 2 CENTRÍFUGA :		4.425,66

3.- EQUIPO DE ULTRASONIDOS

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
3.1	1	EQUIPO DE ULTRASONICACIÓN			
		Total 1	1,000	1.077,93	1.077,93
3.2	1	DEPOSITOS			
		Total 1	1,000	44,43	44,43
Total presupuesto parcial nº 3 EQUIPO DE ULTRASONIDOS :					1.122,36

4.- FONTANERÍA

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
4.1.- TUBOS GALVANIZADOS CON SOLDADURA					
4.1.1	M.	Tubo acero galvan.S.3/8" DN10 mm.			
			Total m.:	1,000	3,27
			Total subcapítulo 4.1.- TUBOS GALVANIZADOS CON SOLDADURA:		3,27
4.2.- TUBOS PVC PRESIÓN ABASTECIMIENTO					
4.2.1	M.	Tubo PVC pres.j.peg.63mm.10 atm.			
			Total m.:	6,000	3,97
			Total subcapítulo 4.2.- TUBOS PVC PRESIÓN ABASTECIMIENTO:		23,82
4.3.- TUBOS PVC SERIE F (EVAC.PLUV.)					
4.3.1	M.	Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 75 mm.			
			Total m.:	0,350	2,41
4.3.2	M.	Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 90 mm.			
			Total m.:	0,350	3,21
4.3.3	M.	Tubo PVC evac.pluv.j.peg.125 mm.			
			Total m.:	3,000	5,77
			Total subcapítulo 4.3.- TUBOS PVC SERIE F (EVAC.PLUV.):		19,27
4.4.- PIEZAS ESPEC.PVC PRESIÓN ABASTE.					
4.4.1	Ud	Codo PVC presión de 63 mm			
			Total ud:	1,000	3,18
			Total subcapítulo 4.4.- PIEZAS ESPEC.PVC PRESIÓN ABASTE.:		3,18
4.5.- VÁLVULAS DE ESFERA					
4.5.1	Ud	Válvula esfera latón níquel.3/8"			
			Total ud:	2,000	2,54
4.5.2	Ud	Válvula esfera PVC roscad.1 1/2"			
			Total ud:	1,000	16,95
			Total subcapítulo 4.5.- VÁLVULAS DE ESFERA:		22,03
4.6.- BOMA 1/2 CV					
4.6.1	1	BOMBA CENTRÍFUGA VULCANO ECM-050			
			Total 1:	1,000	164,72
			Total subcapítulo 4.6.- BOMA 1/2 CV:		164,72
4.7	1	MANO DE OBRA DE FONTANERÍA			
			Total 1:	20,700	6,15
			Total presupuesto parcial nº 4 FONTANERÍA :		363,60

5.- SEGURIDAD Y CONTROL

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
5.1	1	CONTROLES Y ENSAYOS			
		Total 1	1,000	593,54	593,54
5.2	1	SEGURIDAD			
		Total 1	1,000	100,94	100,94
Total presupuesto parcial nº 5 SEGURIDAD Y CONTROL :					694,48

Presupuesto de ejecución material

1 FOTOBIORREACTOR	24.475,09
1.1.- REACTOR	23.882,01
1.2.- AIREADOR	593,08
2 CENTRÍFUGA	4.425,66
3 EQUIPO DE ULTRASONIDOS	1.122,36
4 FONTANERÍA	363,60
4.1.- TUBOS GALVANIZADOS CON SOLDADURA	3,27
4.2.- TUBOS PVC PRESIÓN ABASTECIMIENTO	23,82
4.3.- TUBOS PVC SERIE F (EVAC.PLUV.)	19,27
4.4.- PIEZAS ESPEC.PVC PRESIÓN ABASTE.	3,18
4.5.- VÁLVULAS DE ESFERA	22,03
4.6.- BOMA 1/2 CV	164,72
5 SEGURIDAD Y CONTROL	694,48
Total	31.081,19

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **TREINTA Y UN MIL OCHENTA Y UN EUROS CON DIECINUEVE CÉNTIMOS.**

Soria, Julio de 2018
Estudiante de Ingeniería Agraria y Energética
Virginia Araguzo Carballera

Capítulo 3.

CUADRO DE MANO DE OBRA

Cuadro de mano de obra				
Nº	Designación	Importe		
		Precio (euros)	Cantidad (Horas)	Total (euros)
1	Oficial primera	10,710	233,182 h.	2.497,38
2	Ayudante	10,400	233,122 h.	2.424,47
3	Peón ordinario	10,240	0,060 h.	0,61
4	Ayudante-Carpintero	9,680	233,122 h.	2.256,62
5	Oficial 1ª Fontanero/Calefactor	11,440	3,906 h.	44,68
6	Oficial 2ª Fontanero/Calefactor	11,150	3,726 h.	41,54
7	Oficial 3ª Fontanero/Calefactor	10,740	0,180 h.	1,93
8	Ayudante-Fontanero/Calefactor	10,550	3,906 h.	41,21
9	Oficial 1ª Electricista	11,440	0,540 h.	6,18
10	Oficial 1ª Montador	10,710	233,662 h.	2.502,52
11	Ayudante	10,400	233,662 h.	2.430,08
12	E técn. lab. (personal + equipos)	55,690	0,180 h.	10,02
			Importe total:	12.257,24

Soria, Julio de 2018
Estudiante de Ingeniería Agraria y
Energética
Virginia Araguzo Carballera

Capítulo 4.

CUADRO DE MAQUINARIA

Cuadro de maquinaria				
Nº	Designación	Importe		
		Precio (euros)	Cantidad	Total (euros)
1	Taladro eléctrico 750W	0,660	647,560 h.	427,39
Importe total:				427,39

Soria, Julio de 2018
Estudiante de Ingeniería Agraria y
Energética
Virginia Araguzo Carballera

Capítulo 5.

CUADRO DE MATERIALES

Cuadro de materiales					
Nº	Designación		Importe		
			Precio (euros)	Cantidad Empleada	Total (euros)
1	CENTRÍFUGA AC1000 FLOTTWEG	4.289,000	1,000	1	4.289,00
2	DISPOSITIVO ULTRASONIDOS UIP500hd HIELSCHER	1.030,650	1,000	1	1.030,65
3	AIREADOR MOAFMADAN 1 HP 2 IMPELLER	569,950	1,000	1	569,95
4	Sellado poliuretano e=7 mm.	1,870	323,780	m.	605,47
5	Acero laminado E 275(A 42b)	1,480	6,400	kg	9,47
6	Chapa de plomo 4 mm.	49,120	0,660	m2	32,42
7	LÁm.PE. armd.FV e=1 mm.	6,650	1.424,632	m2	9.473,80
8	Tubo acero galvan.S.3/8" DN10 mm.	3,170	1,000	m.	3,17
9	Codo PVC presión de 63 mm	3,090	1,000	ud	3,09
10	Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 75 mm.	2,340	0,350	m.	0,82
11	Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 90 mm.	3,120	0,350	m.	1,09
12	Tubo PVC evac.pluv.j.peg.125 mm.	5,600	3,000	m.	16,80
13	Tubo PVC pres.j.peg.63mm.10 atm.	3,850	6,000	m.	23,10
14	Válvula esfera latón níquel.3/8"	2,470	2,000	ud	4,94
15	Válvula esfera PVC roscad.1 1/2"	16,460	1,000	ud	16,46
16	Esmalte poliuretano	14,750	38,854	l.	573,10
17	Casco seguridad homologado	2,000	5,000	ud	10,00
18	Gafas protectoras homologadas	2,000	5,000	ud	10,00
19	Traje agua verde tipo ingeniero	15,000	3,000	ud	45,00
20	Par guantes nitrilo amarillo	3,000	5,000	ud	15,00
21	Par botas altas de agua (negras)	6,000	3,000	ud	18,00
22	Espesor in situ aislant.proyect	34,240	1,000	ud	34,24
23	Den.apte.in situ aislan.proyect.	38,630	1,000	ud	38,63
24	Reblandecimiento de PVC	129,880	1,000	ud	129,88
25	Estanqueidad de tubos de PVC	119,570	1,000	ud	119,57
26	Estanqueidad uniones tubos PVC	120,170	1,000	ud	120,17
27	Peso específico polietileno	42,290	1,000	ud	42,29
28	Estanqueidad, tubería de acero	91,470	1,000	ud	91,47
29	BOMBA CENTRÍFUGA VULVANO 1/2 HP	155,930	1,000	1	155,93

Importe total: 17.483,51

Soria, Julio de 2018
Estudiante de Ingeniería Agraria y
Energética
Virginia Araguzo Carballera

Capítulo 6.

CUADRO DE PRECIOS N°1

Cuadro de precios nº 1			
Nº	Designación	Importe	
		En cifra (euros)	En letra (euros)
	1 FOTOBIOREACTOR		
	1.1 REACTOR		
1.1.1	m2 Impermeabilización con lámina sintética de polietileno clorado y copolímeros de etileno, con armadura de poliéster de alta densidad y espesor de 2 mm., sistema flotante, anclada al perímetro y soldada con soplete entre sí.	18,44	DIECIOCHO EUROS CON CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
	1.2 AIREADOR		
1.2.1	1 AIREADOR MAOFMADAN 1 HP 2 IMPELLER	593,08	QUINIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS CON OCHO CÉNTIMOS
	2 CENTRÍFUGA		
2.1	1 EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN	4.425,66	CUATRO MIL CUATROCIENTOS VEINTICINCO EUROS CON SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS
	3 EQUIPO DE ULTRASONIDOS		
3.1	1 EQUIPO DE ULTRASONICACIÓN	1.077,93	MIL SETENTA Y SIETE EUROS CON NOVENTA Y TRES CÉNTIMOS
3.2	1 DEPOSITOS	44,43	CUARENTA Y CUATRO EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS
	4 FONTANERÍA		
	4.1 TUBOS GALVANIZADOS CON SOLDADURA		
4.1.1	m. Tubo acero galvan.S.3/8" DN10 mm.	3,27	TRES EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS
	4.2 TUBOS PVC PRESIÓN ABASTECIMIENTO		
4.2.1	m. Tubo PVC pres.j.peg.63mm.10 atm.	3,97	TRES EUROS CON NOVENTA Y SIETE CÉNTIMOS
	4.3 TUBOS PVC SERIE F (EVAC.PLUV.)		
4.3.1	m. Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 75 mm.	2,41	DOS EUROS CON CUARENTA Y UN CÉNTIMOS
4.3.2	m. Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 90 mm.	3,21	TRES EUROS CON VEINTIUN CÉNTIMOS
4.3.3	m. Tubo PVC evac.pluv.j.peg.125 mm.	5,77	CINCO EUROS CON SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS
	4.4 PIEZAS ESPEC.PVC PRESIÓN ABASTE.		
4.4.1	ud Codo PVC presión de 63 mm	3,18	TRES EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS
	4.5 VÁLVULAS DE ESFERA		
4.5.1	ud Válvula esfera latón niquel.3/8"	2,54	DOS EUROS CON CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
4.5.2	ud Válvula esfera PVC roscad.1 1/2"	16,95	DIECISEIS EUROS CON NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS
	4.6 BOMA 1/2 CV		
4.6.1	1 BOMBA CENTRÍFUGA VULCANO ECM-050	164,72	CIENTO SESENTA Y CUATRO EUROS CON SETENTA Y DOS CÉNTIMOS
4.7	1 MANO DE OBRA DE FONTANERÍA	6,15	SEIS EUROS CON QUINCE CÉNTIMOS
	5 SEGURIDAD Y CONTROL		
5.1	1 CONTROLES Y ENSAYOS	593,54	QUINIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS CON CINCUENTA Y CUATRO

5.2	1 SEGURIDAD	100,94	CÉNTIMOS CIEN EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
-----	-------------	--------	---

Soria, Julio de 2018
Estudiante de Ingeniería Agraria y
Energética
Virginia Araguzo Carballera

Capítulo 7.

CUADRO DE PRECIOS N°2

Cuadro de precios nº 2				
Nº	Designación	Importe		
		Parcial (euros)	Total (euros)	
1	BOMB 1 BOMBA CENTRÍFUGA VULCANO ECM-050			
	(Mano de obra)			
	Oficial 1ª Fontanero/Calefactor	0,180h.	11,440	2,06
	Oficial 3ª Fontanero/Calefactor	0,180h.	10,740	1,93
	(Materiales)			
	BOMBA CENTRÍFUGA VULVANO 1/2 HP	1,0001	155,930	155,93
	Costes indirectos			4,80
	Total por 1:			164,72
	Son CIENTO SESENTA Y CUATRO EUROS CON SETENTA Y DOS CÉNTIMOS por 1			
	2	CONTR 1 CONTROLES Y ENSAYOS		
(Materiales)				
Espesor in situ aislant.proyect		1,000ud	34,240	34,24
Den.apte.in situ aislan.proyect.		1,000ud	38,630	38,63
Reblandecimiento de PVC		1,000ud	129,880	129,88
Estanqueidad de tubos de PVC		1,000ud	119,570	119,57
Estanqueidad uniones tubos PVC		1,000ud	120,170	120,17
Peso específico polietileno		1,000ud	42,290	42,29
Estanqueidad, tubería de acero		1,000ud	91,470	91,47
Costes indirectos				17,29
Total por 1:			593,54	
Son QUINIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS CON CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS por 1				
3	DEP 1 DEPOSITOS			
	(Mano de obra)			
	Oficial primera	0,060h.	10,710	0,64
	Peón ordinario	0,060h.	10,240	0,61
	(Materiales)			
	Acero laminado E 275(A 42b)	6,400kg	1,480	9,47
	Chapa de plomo 4 mm.	0,660m2	49,120	32,42
Costes indirectos			1,29	
Total por 1:			44,43	
Son CUARENTA Y CUATRO EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS por 1				
4	E09INP010 m2 Impermeabilización con lámina sintética de polietileno clorado y copolímeros de etileno, con armadura de poliéster de alta densidad y espesor de 2 mm., sistema flotante, anclada al perímetro y soldada con soplete entre sí.			
	(Mano de obra)			
	Oficial primera	0,180h.	10,710	1,93
	Ayudante	0,180h.	10,400	1,87
	Ayudante-Carpintero	0,180h.	9,680	1,74
	Oficial 1ª Montador	0,180h.	10,710	1,93
	Ayudante	0,180h.	10,400	1,87
	(Maquinaria)			
	Taladro eléctrico 750W	0,500h.	0,660	0,33
	(Materiales)			
	Sellado poliuretano e=7 mm.	0,250m.	1,870	0,47
LÁm.PE. armd.FV e=1 mm.	1,100m2	6,650	7,32	

	Esmalte poliuretano	0,030l.	14,750	0,44	
	Costes indirectos			0,54	
			Total por m2:		18,44
	Son DIECIOCHO EUROS CON CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS por m2				
5	EQAGIT	1 AIREADOR MAOFMADAN 1 HP 2 IMPELLER			
	(Mano de obra)				
	Oficial 1ª Electricista	0,180h.	11,440	2,06	
	Oficial 1ª Montador	0,180h.	10,710	1,93	
	Ayudante	0,180h.	10,400	1,87	
	(Materiales)				
	AIREADOR MOAFMADAN 1 HP 2 IMPELLER	1,0001	569,950	569,95	
	Costes indirectos			17,27	
			Total por 1:		593,08
	Son QUINIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS CON OCHO CÉNTIMOS por 1				
6	EQCENT	1 EQUIPO DE CENTRIFUGACIÓN			
	(Mano de obra)				
	Ayudante-Fontanero/Calefactor	0,180h.	10,550	1,90	
	Oficial 1ª Electricista	0,180h.	11,440	2,06	
	Oficial 1ª Montador	0,180h.	10,710	1,93	
	Ayudante	0,180h.	10,400	1,87	
	(Materiales)				
	CENTRÍFUGA AC1000 FLOTTWEG	1,0001	4.289,000	4.289,00	
	Costes indirectos			128,90	
			Total por 1:		4.425,66
	Son CUATRO MIL CUATROCIENTOS VEINTICINCO EUROS CON SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS por 1				
7	EQUQT	1 EQUIPO DE ULTRASONICACIÓN			
	(Mano de obra)				
	Oficial 1ª Electricista	0,180h.	11,440	2,06	
	Oficial 1ª Montador	0,180h.	10,710	1,93	
	Ayudante	0,180h.	10,400	1,87	
	E técn. lab. (personal + equipos)	0,180h.	55,690	10,02	
	(Materiales)				
	DISPOSITIVO ULTRASONIDOS UIP500hd HIELSCHER	1,0001	1.030,650	1.030,65	
	Costes indirectos			31,40	
			Total por 1:		1.077,93
	Son MIL SETENTA Y SIETE EUROS CON NOVENTA Y TRES CÉNTIMOS por 1				
8	MANOB	1 MANO DE OBRA DE FONTANERÍA			
	(Mano de obra)				
	Oficial 1ª Fontanero/Calefactor	0,180h.	11,440	2,06	
	Oficial 2ª Fontanero/Calefactor	0,180h.	11,150	2,01	
	Ayudante-Fontanero/Calefactor	0,180h.	10,550	1,90	
	Costes indirectos			0,18	
			Total por 1:		6,15
	Son SEIS EUROS CON QUINCE CÉNTIMOS por 1				
9	P17GS010	m. Tubo acero galvan.S.3/8" DN10 mm.			
	(Materiales)				
	Tubo acero galvan.S.3/8" DN10 mm.	1,000m.	3,170	3,17	
	Costes indirectos			0,10	
			Total por m.:		3,27
	Son TRES EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS por m.				
10	P17VE070	ud Codo PVC presión de 63 mm			

	(Materiales)				
	Codo PVC presión de 63 mm	1,000ud	3,090	3,09	
	Costes indirectos			0,09	
			Total por ud:		3,18
	Son TRES EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS por ud				
11	P17VF010 m. Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 75 mm.				
	(Materiales)				
	Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 75 mm.	1,000m.	2,340	2,34	
	Costes indirectos			0,07	
			Total por m.:		2,41
	Son DOS EUROS CON CUARENTA Y UN CÉNTIMOS por m.				
12	P17VF020 m. Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 90 mm.				
	(Materiales)				
	Tubo PVC evac.pluv.j.peg. 90 mm.	1,000m.	3,120	3,12	
	Costes indirectos			0,09	
			Total por m.:		3,21
	Son TRES EUROS CON VEINTIUN CÉNTIMOS por m.				
13	P17VF040 m. Tubo PVC evac.pluv.j.peg.125 mm.				
	(Materiales)				
	Tubo PVC evac.pluv.j.peg.125 mm.	1,000m.	5,600	5,60	
	Costes indirectos			0,17	
			Total por m.:		5,77
	Son CINCO EUROS CON SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS por m.				
14	P17VT070 m. Tubo PVC pres.j.peg.63mm.10 atm.				
	(Materiales)				
	Tubo PVC pres.j.peg.63mm.10 atm.	1,000m.	3,850	3,85	
	Costes indirectos			0,12	
			Total por m.:		3,97
	Son TRES EUROS CON NOVENTA Y SIETE CÉNTIMOS por m.				
15	P17XE010 ud Válvula esfera latón níquel.3/8"				
	(Materiales)				
	Válvula esfera latón níquel.3/8"	1,000ud	2,470	2,47	
	Costes indirectos			0,07	
			Total por ud:		2,54
	Son DOS EUROS CON CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS por ud				
16	P17XE140 ud Válvula esfera PVC roscad.1 1/2"				
	(Materiales)				
	Válvula esfera PVC roscad.1 1/2"	1,000ud	16,460	16,46	
	Costes indirectos			0,49	
			Total por ud:		16,95
	Son DIECISEIS EUROS CON NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS por ud				
17	SEG 1 SEGURIDAD				
	(Materiales)				
	Casco seguridad homologado	5,000ud	2,000	10,00	
	Gafas protectoras homologadas	5,000ud	2,000	10,00	
	Traje agua verde tipo ingeniero	3,000ud	15,000	45,00	
	Par guantes nitrilo amarillo	5,000ud	3,000	15,00	
	Par botas altas de agua (negras)	3,000ud	6,000	18,00	
	Costes indirectos			2,94	
			Total por 1:		100,94
	Son CIEN EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS por 1				

Soria, Julio de 2018
Estudiante de Ingeniería Agraria y Energética
Virginia Aragozo Carballera

Capítulo 8.

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Resumen de presupuesto

Capítulo	Importe (€)
1 FOTOBIORREACTOR	
1.1 REACTOR .	23.882,01
1.2 AIREADOR .	593,08
Total 1 FOTOBIORREACTOR	24.475,09
2 CENTRÍFUGA .	4.425,66
3 EQUIPO DE ULTRASONIDOS .	1.122,36
4 FONTANERÍA	
4.1 TUBOS GALVANIZADOS CON SOLDADURA .	3,27
4.2 TUBOS PVC PRESIÓN ABASTECIMIENTO .	23,82
4.3 TUBOS PVC SERIE F (EVAC.PLUV.) .	19,27
4.4 PIEZAS ESPEC.PVC PRESIÓN ABASTE. .	3,18
4.5 VÁLVULAS DE ESFERA .	22,03
4.6 BOMA 1/2 CV .	164,72
Total 4 FONTANERÍA	363,60
5 SEGURIDAD Y CONTROL .	694,48
Presupuesto de ejecución material (PEM)	31.081,19
13% de gastos generales	4.040,55
6% de beneficio industrial	1.864,87
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC = PEM + GG + BI)	36.986,61

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de TREINTA Y SEIS MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y SEIS EUROS CON SESENTA Y UN CÉNTIMOS.

Soria, Julio de 2018
Estudiante de Ingeniería Agraria y Energética
Virginia Araguzo Carballera