

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA QUÍMICA



**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE
MICROALGAS CON FINES
ENERGÉTICOS**

AUTORA: ROSA MARÍA ESCUDERO SANTIAGO

DIRECTOR:

Fº GABRIEL ACIÉN FERNÁNDEZ

Almería, Junio de 2.012

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

**PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA QUÍMICA**

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE
MICROALGAS CON FINES
ENERGÉTICOS**

ROSA MARÍA ESCUDERO SANTIAGO

Almería, Junio de 2012

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MICROALGAS CON FINES ENERGÉTICOS

Memoria presentada por D^a. ROSA M^a ESCUDERO SANTIAGO
para la defensa del Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería
Química en la Facultad de Ciencias Experimentales de la
Universidad de Almería.

Almería, a 19 de Junio de 2012.

Fdo.: Rosa M^a Escudero santiago

Con el V^oB^o del Director del Proyecto:

Fdo.: Francisco Gabriel Acién Fernández
Profesor Titular
Departamento Ingeniería Química

Agradecimientos

Hay muchas personas a las que debo agradecer su apoyo y constancia en este trabajo. Por haber depositado su confianza y su dedicación desde el primer momento, por haberme ayudado en los momentos difíciles y hacerme ver que al final se llega.

Quiero agradecer ante todo a F^o Gabriel Ación, por brindarme la oportunidad de trabajar a su lado y tenerme tanta paciencia. Por acompañarme en todo momento y estar pendiente en cada uno de los pasos a seguir. Por el apoyo y confianza que a veces me falta, y por hacerme ver que todo es posible con esfuerzo y trabajo. Muchísimas gracias.

No puedo dejar a un lado a mi equipo de trabajo en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar: a Alicia González, que desde que llegué fue el mejor apoyo que pude tener y la mejor amiga; a María Mar Morales, que se ha convertido en más que una hermana para mí, tanto para los momentos buenos como para los malos; a Cintia Gómez, que no he conocido mejor persona y que me haya enriquecido tanto; a José Peña, que creo que sin él esto no hubiera sido posible; a Jose Antonio Cañas, que siempre está cuando se le llama; y a tantas otras personas que me han dado ánimos y me han hecho ver que podía acabar este ciclo de mi vida.

Tengo que agradecerles también a todos mis amigos/as el interés y el apoyo que han tenido en todo momento, en darme ánimos y llenarme de fuerza, sois los mejores.

En especial quiero agradecer y dedicar este trabajo a Jesús Muñoz, que me ha acompañado desde siempre, que me ha aguantado todo mi mal humor, mis indecisiones, mis altibajos, y me ha soportado en cada momento. Sin su amor y su apoyo, esto no hubiera sido posible. Gracias por no desesperarte y darme fuerzas cuando me faltaban.

Ante todo quiero dedicarles este trabajo a mi madre y a mi padre. A mi madre por el coraje que tiene y el empeño en su trabajo; a mi padre por darme fuerzas cada día para seguir adelante y estar siempre conmigo, aunque sea de espíritu y en mi corazón, porque te llevaré siempre y te recordaré siempre.

RESUMEN

La producción de microalgas para fines energéticos está experimentando un gran desarrollo debido al encarecimiento y agotamiento de los combustibles fósiles. En base a esto, se está promoviendo la búsqueda y desarrollo de nuevas tecnologías y fuentes de obtención de energía mediante nuevos recursos naturales y renovables. Debido a la cantidad de propiedades y características que presentan las microalgas, tanto a nivel productivo como de aplicaciones, están desarrollando distintas alternativas para la obtención de biomasa para la producción de energía, bien como biodiesel o como cualquier otro biocombustible.

En base a lo expuesto, el presente proyecto tiene como objetivo diseñar el proceso productivo de microalgas para la obtención de biomasa empleando para tal fin la especie *Scenedesmus suspicatus*, gracias a su adaptabilidad a las condiciones de cultivo desfavorables que se pretenden desarrollar. El proceso se desarrolla en continuo empleando fotobiorreactores raceway al aire libre.

En el proceso de producción diseñado pueden diferenciarse tres etapas principales:

1. La primera etapa desarrolla el cultivo de la microalga empleando fotobiorreactores raceway, cuyo empleo garantiza la obtención de un producto homogéneo con las propiedades requeridas. Para una producción fijada en 1.000 Tm de biomasa al año, la planta de producción está compuesta por 37 reactores operativos con un volumen total por reactor de 420 m³.
2. La segunda etapa permite la separación de la biomasa, obteniendo un producto concentrado con un contenido en sólidos del 20%. Esta operación es llevada a cabo mediante una floculación-decantación que nos permite favorecer la siguiente etapa de concentración. La concentración del floculante empleado es de 7,25 mg/L. Posteriormente se realiza una centrifugación con una centrífuga de

cámara y tornillo, apropiada según los requerimientos del proceso, con un área equivalente de $10,1 \text{ m}^2$ y una capacidad de separación del líquido de $116,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

3. Como tercera etapa se recurre a la conservación del lodo de microalgas en una cámara de frío provista de 6 tanques de almacenamiento para albergar el cosechado de una semana. Las dimensiones de ésta son $10 \times 13 \text{ m}$ y 4 m de altura. El área total de la cámara es de 130 m^2 .

Hay que destacar la utilización de una caldera para la obtención de gases de combustión. Se utiliza como fuente de biomasa el lodo de microalga procedente de la planta de aguas residuales EDAR El Toyo. Además, esta planta suministrará el agua necesaria para el cultivo de los fotobioreactores, de manera que se utilizan fuentes muy baratas.

Del estudio económico aplicado al proceso diseñado se obtiene el dato referente al coste unitario de producción, el cual se sitúa en $0,4 \text{ €/kg}$ de biomasa. Este valor nos proporciona cubrir los gastos anuales totales que presenta la planta, y obtener un beneficio neto anual de $39.823,98 \text{ €}$.

Para obtener un VAN positivo, se establece que el producto debe ser vendido por encima de $0,6 \text{ €/kg}$ para hacer viable el proceso. Con un tipo de interés de $0,05$ y una viabilidad de la planta estimada en 15 años, se obtiene un plazo de recuperación de $6,53$ años. Con estos datos el BNP se sitúa en un $9,80\%$.

Dicho lo anterior, se adjuntan los documentos que permiten ejecutar la planta objeto del proyecto. Además, se incluye la documentación técnica y económica que concreta la magnitud física y económica que dicha ejecución requiere.

Almería, Junio de 2012.

El alumno.

Rosa M^a Escudero Santiago.

ÍNDICE DEL PROYECTO

DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA JUSTIFICATIVA

DOCUMENTO Nº 2. MEMORIA DESCRIPTIVA

DOCUMENTO Nº 3. ANEJOS A LA MEMORIA

ANEJO Nº 1. LOCALIZACIÓN Y PRODUCCIÓN

ANEJO Nº2. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

ANEJO Nº 3. REACTOR RACEWAY

ANEJO Nº 4. FLOCULACIÓN-DECANTACIÓN

ANEJO Nº 5. CENTRIFUGACIÓN

ANEJO Nº 6. ACONDICIONAMIENTO DEL MEDIO

ANEJO Nº 7. DISEÑO DE TANQUES

ANEJO Nº 8. EQUIPOS AUXILIARES

ANEJO Nº 9. INTERCAMBIADORES DE CALOR

ANEJO Nº 10. TUBERÍAS Y BOMBAS

ANEJO Nº 11. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

ANEJO Nº 12. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

DOCUMENTO Nº 4. PRESUPUESTO

DOCUMENTO Nº 5. PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO Nº 6. SEGURIDAD INDUSTRIAL

DOCUMENTO Nº 7. PLANOS

PLANO Nº 1. LOCALIZACIÓN

PLANO Nº 2. PLANO GENERAL DE LA PLANTA

PLANO Nº 3. PLANO DEL FOTOBIOREACTOR

PLANO Nº 4. CÁMARA DE ALMACENAMIENTO

PLANO Nº 5. DIAGRAMA DE FLUJO

PLANO Nº 6. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN

DOCUMENTO 1:

MEMORIA

JUSTIFICATIVA

ÍNDICE

1.- ANTECEDENTES.....	3
1.1.- Microalgas.....	3
1.2.- Propiedades de las microalgas.....	3
1.3.- Producción de biodiesel con microalgas.....	5
1.4.- Modos de operación de reactores.....	7
1.5.- Necesidades de localización.....	9
1.6.- Producción de biocombustibles	11
2.- OBJETIVO.....	18
3.- LOCALIZACIÓN.....	19
4.- JUSTIFICACIÓN	20
5.- SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	21
5.1.- Diagrama de bloques.....	21
5.2.- Acondicionamiento del agua.....	22
5.2.1.- Medio de cultivo.....	22
5.2.2.- Preparación del medio.....	24
5.3.- Bioreactor	25
5.3.1.- Selección de la microalga.....	25
5.3.2.- Selección del bioreactor	26
5.4.- Sistemas de cosechado y separación:.....	28
5.4.1.- Coagulación-Floculación	28
5.4.2.- Decantación.....	29
5.4.3.- Filtración:	30
5.4.4.- Centrifugación:.....	33
5.5.- Almacenamiento	36
6.- DISEÑO FINAL.....	38
6.1.- Acondicionamiento.....	38
6.2.- Bioreactor	38
6.3.- Separación.....	38
6.4.- Almacenamiento	38

6.5.- Diagrama de bloques..... 39

1.- ANTECEDENTES.

1.1.- Microalgas.

Las microalgas constituyen un grupo muy diverso de organismos unicelulares que al igual que las plantas, convierten la energía solar en energía química mediante la fotosíntesis. Forman la base de la cadena alimenticia para más del 70% de la biomasa mundial, y se consideran maquinarias fotosintéticas generadoras de pigmentos con una adaptación ecofisiológica y plasticidad bioquímica única; lo que les permite la bioconversión directa de la energía solar en compuestos químicos, bajo una variedad de condiciones medioambientales y a una velocidad mayor que cualquier otra fuente vegetal. Además de ser productoras primarias de los ambientes acuáticos, estos microorganismos fotosintéticos son útiles en aplicaciones de biorremediación, y como biofertilizantes fijadores de nitrógeno. También regulan el contenido de oxígeno y dióxido de carbono en la atmósfera, colaborando en el control del efecto invernadero, las lluvias ácidas y el adelgazamiento de la capa de ozono.

Poseen un gran potencial como fuente de varios productos químicos tales como polisacáridos, lípidos y pigmentos que sirven de base a la industria química. Hoy es indiscutible la importancia económica de las microalgas, que a diferencia de las plantas superiores, contienen relativamente pequeñas cantidades de material estructural y muchos de los componentes celulares son de reconocido valor económico.

1.2.- Propiedades de las microalgas.

Como valor promedio la biomasa está constituida por 20-30% de lípidos, 40-50% de proteínas y el resto se divide entre carbohidratos, que en algunas especies pueden llegar hasta el 55% de la biomasa, y otros compuestos. Constituyen una de las alternativas más atractivas entre los microorganismos por varias razones:

- 1 En comparación a la mayoría de las bacterias y el total de los hongos y levaduras, las microalgas por su capacidad fotosintética pueden alcanzar grandes rendimientos solo con energía solar y una fuente de carbono como el CO₂ o bicarbonatos, además de nutrientes de fácil disponibilidad.

2 Algunas especies están también en condición de crecer sobre sustrato orgánico, en presencia o ausencia de luz. La capacidad de estos microorganismos de poder crecer en ambientes diferentes y adversos a muchos otros organismos vegetales, es debido a la variedad excepcional de lípidos y de otros compuestos inusuales, que pueden sintetizar.

3 Entre los distintos grupos de organismos fotosintéticos, las microalgas son uno de los más eficientes en utilizar la energía solar. Por lo general, las plantas superiores presentan una eficiencia fotosintética alrededor del 2% o menor. Las microalgas, gracias a su simplicidad estructural tienen una eficacia fotosintética claramente superior y según las condiciones ambientales y de cultivo, pueden alcanzar hasta 4-8%. Así por ejemplo, se tienen estimaciones de productividades tan altas como 60-80 Tn/ha-año de peso seco; en contraste con cultivos convencionales que producen del orden de 10-30 Tn/Ha-año. Esta característica las hace extremadamente productivas.

4 Las microalgas son convertidores mucho más eficientes de la energía solar que cualquier planta terrestre conocida, porque crecen en la suspensión donde tienen el acceso ilimitado al agua y acceso más eficiente al CO₂ y a los nutrientes.

5 En general, los cultivos a gran escala son más simples y baratos.

6 Las microalgas pueden ser cultivadas todo el año, y cosechadas continuamente.

7 Pueden crecer en tierras marginales en las regiones áridas del mundo, en ambientes salinos e hipersalinos de baja calidad o en aguas residuales cargadas de nutrientes, que no son buenas para la irrigación agrícola o el consumo para los seres humanos o los animales, de modo que los cultivos de esa manera no compiten con la agricultura tradicional por cantidad o calidad de suelos.

8 Los cultivos de microalgas también tienen un consumo de agua más baja que la requerida por los cultivos tradicionales. Si se considera que el agua usada se puede reutilizar para la irrigación, los cultivos de microalgas son aún más ventajosos. Además la capacidad de crecer en un medio fluido, facilita la operación de los sistemas de producción y la manipulación de las condiciones de cultivo.

9 Las microalgas crecen al igual que las bacterias, es decir, de manera exponencial. Es un crecimiento muy rápido, ningún vegetal terrestre da un crecimiento de ese tipo. Las plantas necesitan un tiempo más prolongado.

10 Por ser organismos unicelulares, su biomasa entera posee los productos de interés, a diferencia de las plantas superiores en las que los productos recuperables se encuentran en sitios u órganos específicos, lo que dificulta su extracción.

11 Otra ventaja que tienen las microalgas es que su cultivo no requiere el uso de los pesticidas y herbicidas que deben usarse con los vegetales terrestres para alejar plagas.

1.3.- Producción de biodiesel con microalgas

Actualmente, los elevados precios mundiales de los combustibles fósiles sumados a la creciente preocupación por el cambio climático y la seguridad energética están impulsando el interés por las energías renovables, como es el caso de los biocombustibles. Y entre las opciones más prometedoras se encuentran las microalgas como fuente de energía. Se ha demostrado que la biomasa de las microalgas puede proporcionar diversos productos ricos en energía. Éstos incluyen metano producido por la digestión anaeróbica de la biomasa, biodiesel derivado de aceite microalgal, y biohidrógeno producido fotobiológicamente.

En las últimas décadas se ha destacado que las microalgas representan una alternativa más conveniente que cualquier otro tipo de organismo para la producción de triacilglicéridos y su conversión a biodiesel, ya que algunas especies oleaginosas, siendo organismos fotosintéticos, sólo requieren energía solar, agua, CO₂ y algunas sales para producir muy altos rendimientos de biomasa rica en lípidos (Li *et al.* 2008a). De hecho, son los organismos fotosintéticos más eficientes, absorben más CO₂ y liberan más O₂ que cualquier planta, crecen extremadamente rápido y llegan a acumular grandes cantidades de diversos productos. Algunas microalgas doblan su biomasa en 24 h y el tiempo de duplicación de biomasa durante la fase exponencial puede ser tan corto como 3.5 h (Chisti, 2007). De manera más específica, los

beneficios que se obtienen al usar microalgas para la producción de biodiesel son:

a) Las microalgas tienen un rendimiento de aceite mucho mayor que cualquier cultivo convencional. Es de 10 a 20 veces mayor que el derivado del aceite de palma y de 200 a 400 veces mayor que el derivado del aceite de soya.

b) Requiere de 1.5 a 3.2 millones de hectáreas (M has) para satisfacer el 50% de las demandas de energéticos de transporte en U.S.A. (Chisti, 2007). En contraste, la soya, principal fuente de biodiesel en U.S.A. requiere de 330 a 450 M has para un propósito similar. En México, se ha estimado que sólo se requiere el 1% de la superficie total del país, para cubrir el 100% de la demanda actual de diesel de petróleo (Garibay *et al.*, 2009).

c) Con biodiesel de microalgas cultivadas en lagunas abiertas (LA), sólo se requieren 200,000 has para producir 1 cuadrillón de BTU (Sheehan *et al.*, 1998). En contraste, se requieren aproximadamente 40 millones de has si se utiliza etanol derivado de maíz o 20 millones de has si se utiliza biodiesel derivado de frijol de soya.

d) Las microalgas oleaginosas pueden ser cultivadas en agua de mar o en agua salobre, disminuyendo así la presión sobre el agua dulce requerida para la producción de alimento. Algunas otras especies aisladas de agua dulce, pueden crecer en aguas residuales, también eliminando la competencia por el uso de agua para la agricultura.

e) Las microalgas son excelentes captadoras de CO₂. Por cada 100 ton de microalgas producidas, se consumen 183 ton de CO₂ (Chisti, 2007).

f) Con relación a la emisión de gases invernadero, es de los pocos bioenergéticos con un valor negativo. Es decir, no se produce CO₂ durante el ciclo de vida de producción y el valor de este parámetro para microalgas (-183 kgCO₂/MJ) es el más negativo respecto a los otros bioenergéticos con valores negativos (etanol a partir de pastos o de residuos celulósicos). En contraste, el diesel a partir de fuentes fósiles produce 83 kgCO₂/MJ y el etanol a partir de maíz produce 81-85 kgCO₂/MJ (Chisti, 2007).

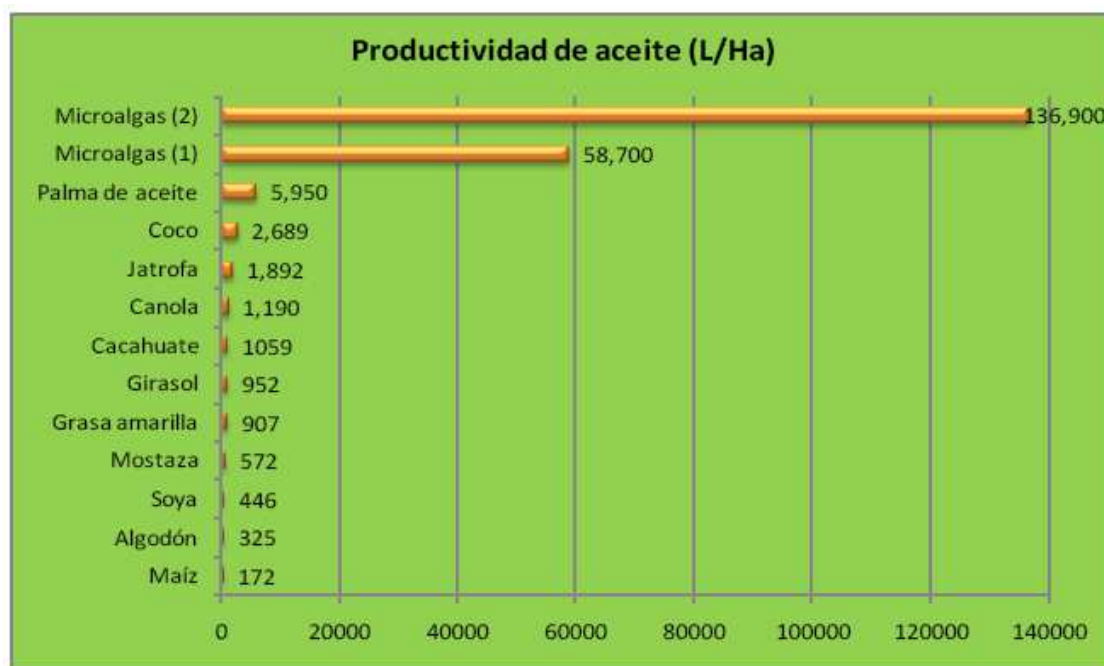


Fig. 1. Productividad de aceite de las microalgas en comparación con los cultivos convencionales (Gao *et al*, 2009; Schenk *et al.*, 2008; Chisti, 2007). (1) 30% de aceite en biomasa (con base a peso seco); (2) 70% de aceite en biomasa (con base a peso seco).

1.4.- Modos de operación de reactores

Discontinuo, estático, por lote o batch

Es el modo más simple de operar. En este tipo de sistemas el medio se aporta de forma única al inicio del cultivo. Sobre este medio se inocula la cepa de microalga que se desee cultivar. Tras una fase de aclimatación inicial o adaptación en la que el alga se acomoda al nuevo medio, se produce una segunda fase de crecimiento exponencial, alcanzando la población el límite de organismos capaz de ser sustentados por el medio. Transcurrida esta fase comienzan a ser limitantes los nutrientes y las algas competirán por ellos más que por el espacio o la luz por lo que cesa el crecimiento y en consecuencia la concentración de cultivo se mantiene constante. Al comienzo de esta última fase se realiza la cosecha. Este tipo de cosecha del cultivo impone unas tasas de crecimiento que no permite la acumulación de lípidos. De esta forma se determinan las condiciones que deben proporcionarse al cultivo para obtener un desarrollo óptimo. Una vez que se conocen los parámetros de operación del sistema empleado, este modo de operación se emplea para conseguir la concentración necesaria hasta comenzar con el cultivo de biomasa, pero no es

recomendable para la etapa de producción debido a la imposición de tiempos muertos que hacen reducir la productividad del sistema, así como a la operación del cultivo en condiciones no óptimas de aprovechamiento de la luz. Generalmente el uso de estos cultivos es para fines de bioensayo (cinéticas de crecimiento, parámetros de crecimiento, estudios fotoautotróficos, etc...) o bien para posterior transferencia a volúmenes mayores.

Semicontínuo

En este caso no se realiza una única cosecha final, sino que son varias, en determinados periodos de tiempo (generalmente al final de la fase exponencial), tras las cuales se añade medio de cultivo fresco de forma que el cultivo siempre sigue creciendo. Este método necesita mayor mano de obra que el empleado en el modo de operación anterior. De esta forma, se puede llevar a cabo el cultivo durante varias semanas manteniendo controladas de forma más precisa las condiciones de operación cerca de sus valores óptimos. Sin embargo, las operaciones de adición de medio fresco pueden producir la aparición de gradientes de concentración por falta de mezcla, así como fenómenos de estrés y la inducción de fases de adaptación que reducen el rendimiento de este tipo de procesos.

Continuo

En estos cultivos es importante determinar la concentración óptima de los nutrientes por unidad de tiempo en relación a la tasa de dilución o cosecha del cultivo. Al igual que el tipo anterior, se adiciona un volumen de medio de cultivo nuevo proporcional a la cantidad retirada para permitir que los sustratos de las microalgas no sean limitantes. El modo de cultivo continuo tiene la ventaja de mantener constantes las condiciones de crecimiento del cultivo en sus valores óptimos y durante largos períodos de tiempo, sin alterar las propiedades de la biomasa, lo cual permite obtener productos homogéneos. Durante el tiempo que el sistema esté en modo continuo, la población de microalgas se mantiene en la fase exponencial-lineal. Para el mantenimiento de este tipo de operaciones, el cultivo necesita la adición continua de medio fresco, de nutrientes que mantengan los parámetros de crecimiento fijados como óptimos para el desarrollo de la población microalgal. Para iniciar un cultivo continuo normalmente se debe realizar antes un cultivo por lotes, para alcanzar la densidad celular mínima deseada.

1.5.- Necesidades de localización

Tasas de irradiación y temperatura:

Una ubicación adecuada debe ser aquella que permita mantener producciones máximas de las cepas seleccionadas, durante todos los días del año. Idealmente las plantas de producción no deberían pararse nunca por influencia de luz, ni por excesos o carencias de temperatura. Es importante tener en cuenta que para ceñirse a los costes de producción de biomasa que se consideran competitivos, el sistema debería operar permanentemente a valores óptimos de densidad, producción y monoespecificidad. El siguiente mapa indica las zonas con mayor tasa anual de irradiación, y por lo tanto las más propicias para el cultivo de microalgas. Las zonas marcadas en rojo reciben una radiación directa de 2500-3000 kWh/m²año, y las regiones en amarillo alrededor de 2000-2500 kWh/m²año.

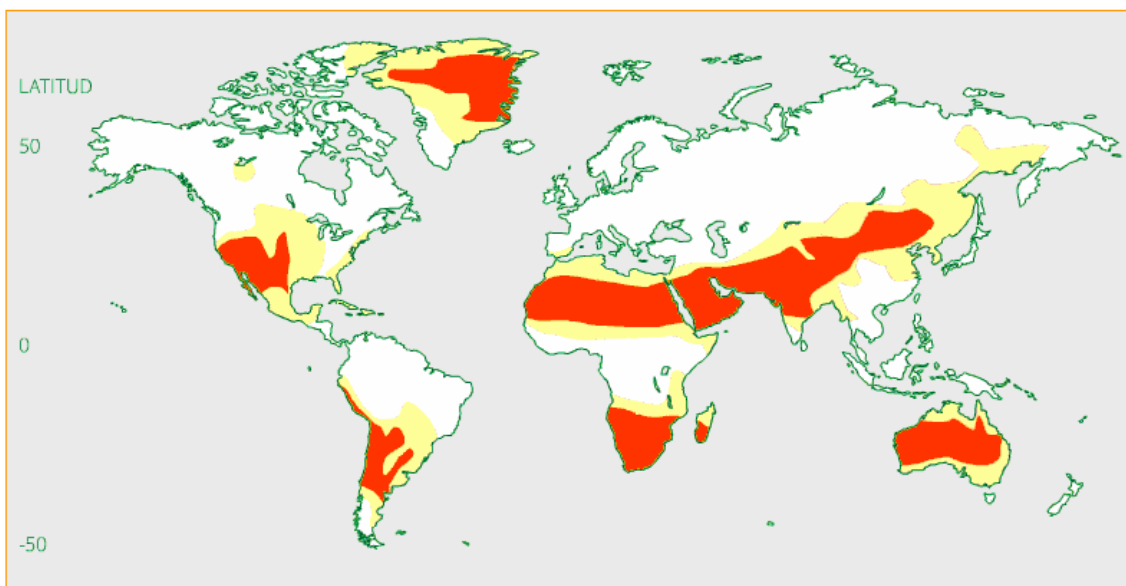


Fig. 2. Distribución mundial de zonas más adecuadas para la producción de microalgas por su elevada tasa de radiación solar anual.

Tipos de terreno:

- I. Terrenos preferentemente no destinados a uso agrícola;
- II. Planos o en muy ligera pendiente;
- III. Preferentemente reflectantes, como suelos carbonatados o salinos, para multiplicar el efecto de la irradiación reflejada. Esto es utilizado en el caso de reactores tubulares, cuando se trata de raceways no se aprecia el efecto.

Contaminación del terreno:

La ubicación escogida no debe tener contaminación por metales pesados ni radioactividad y debe buscarse la ausencia total de sulfatos de cobre (u otras sales de cobre) en aguas y terrenos. Aunque algunos investigadores consideran que la contaminación por metales no tiene por qué ser excluyente, ya que la resistencia a ciertos tóxicos puede ser una herramienta para controlar la presencia de contaminaciones en los cultivos. En este sentido, las microalgas y cianobacterias han sido referenciadas como acumuladoras de metales pesados y por tanto pueden usarse para regenerar terrenos y/o aguas, sobre todo si el uso final de la biomasa es para obtener biodiesel. El control de contaminaciones es muy importante en la biotecnología de microalgas y ya que es imposible esterilizar el medio de cultivo de las microalgas, es necesario desarrollar resistencias en éstas para que solo ellas, o al menos preferentemente ellas, puedan crecer en el ambiente de cultivo.

Altitud del terreno:

En principio no sería ningún obstáculo, ya que la producción de microalgas puede llevarse a cabo tanto a nivel del mar como a cotas elevadas, siempre que haya un acceso garantizado de agua. La altitud puede aumentar la radiación así como reducir la temperatura, y siempre que estos efectos acerquen las condiciones de cultivo hacia el rango de condiciones óptimas de las especies en cultivo será un efecto positivo.

Aporte de CO₂:

Es necesario que en las cercanías de la planta de microalgas se disponga de gases de combustión, es decir, de focos de emisiones de CO₂ provenientes de algún tipo de industria o central. Este requisito no solo es necesario, sino que además se aprovecha los beneficios derivados de la eliminación de este tipo de contaminante, y por tanto el beneficio económico y social que ello conlleva.

Fertilizantes:

Es importante tratar los costes derivados de la utilización de fertilizantes, ya que estos implican consumo tanto de materia como de energía. Para ello existen las siguientes opciones:

- i. Emplear aguas residuales industriales y/o agrícolas con nutrientes disponibles (amonio, nitrato, fosfato,...)
- ii. Utilizar aguas procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR).

Otros aspectos:

Además de los factores medioambientales, es necesario tener en cuenta las variables socioeconómicas que también afectan al proceso, ya que una planta de producción de biomasa requiere contar con capital humano formado tecnológicamente, así como centros de investigación privados y públicos, y empresas relacionadas con el sector. Así de importante son los accesos y las comunicaciones a nivel ferroviario, marítimo y por carretera.

1.6.- Producción de biocombustibles

En los últimos años ha habido una fuerte demanda en la producción y en el consumo de petróleo a nivel mundial, y en consecuencia, además de los distintos acontecimientos sociales y políticos de los países productores, ha provocado un encarecimiento del barril de petróleo.

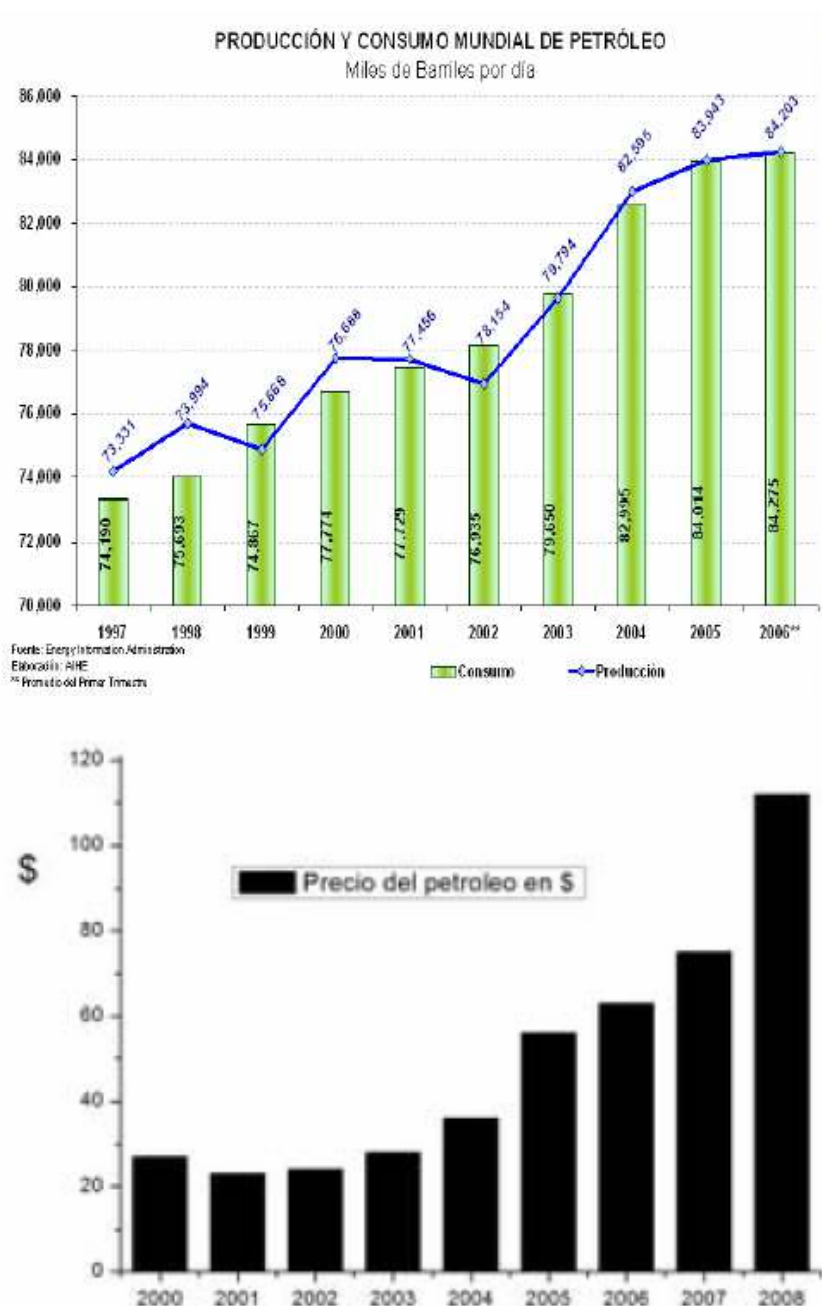


Fig. 3. Evolución del precio, producción y consumo de petróleo en los últimos años.

Además de esto, cada día se plantea la problemática del calentamiento global y de las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas principalmente por combustibles como el petróleo, gas y carbón. Las emisiones de CO₂ procedentes del uso de combustibles fósiles se han incrementado en un 41% entre 1990 y 2008. En España, las emisiones de gases de efecto invernadero crecieron en 2007 un 2.1% respecto al año anterior por lo que España superaba ya en un 52.6 % las emisiones de 1990, año de referencia en

el Protocolo de Kioto. Estas emisiones bajan en el 2008 y 2009 gracias a la crisis económica. El recorte de producción en el sector eléctrico, la reducción del consumo de petróleo y el aumento de energía eólica y la presencia mayor del gas en centrales de ciclo combinado, explican la baja de entre el 5% y el 6% de emisiones en el 2008. La producción industrial cayó en diciembre de 2008 un 19,6% respecto al mismo mes del año anterior. Actualmente debido a este problema y a otros similares, se está llevando a cabo el estudio y desarrollo de diferentes fuentes de energías renovables como posibles soluciones. Dentro de las posibles fuentes de energías renovables destaca la biomasa.



Fig. 4. Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España. Emisiones. Síntesis de resultados de la serie 1990-2008: Sumario Edición 2010 (MARM, 2010).

La biomasa, dentro del grupo de las renovables es la fuente energética que más se está utilizando en el mundo: 1,214 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), que es algo más de un 10 % del consumo mundial de energía (datos del 2007). Evidentemente, los países en vías de desarrollo son los que más biomasa consume (65 %), pero en los países industrializados también se está consumiendo una parte importante que representa un 35 % del total de la biomasa consumida en el mundo.

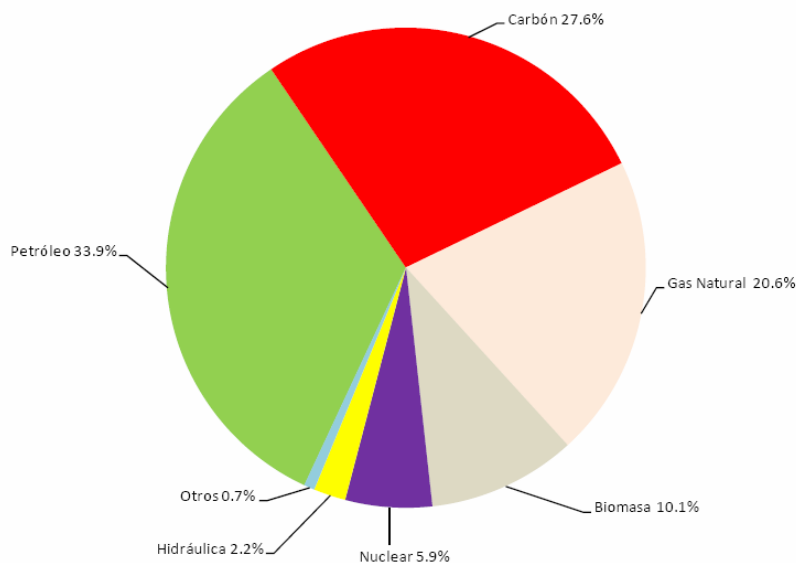


Fig. 5. Consumo mundial de energía en 2007. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2010).

Desde el punto de vista energético, una de las ventajas que presenta la biomasa es la posibilidad de satisfacer todas las necesidades energéticas de la humanidad, desde el transporte hasta la producción de electricidad, calor o materias primas para la industria. En efecto, mientras que la mayoría de las energías renovables sólo proporcionan calor o electricidad, a través de la biomasa se pueden obtener una gran variedad de combustibles.

En las siguientes figuras se indican el consumo de energía primaria que se utiliza en España, referida a 2008, con indicación especial de la participación de las diferentes energías renovables. Según puede observarse, la biomasa en conjunto, incluyendo todas las formas de bio-energía (biocarburantes, RSU y biocombustibles sólidos) constituye el 53% del total de la energía primaria aportada por las renovables.

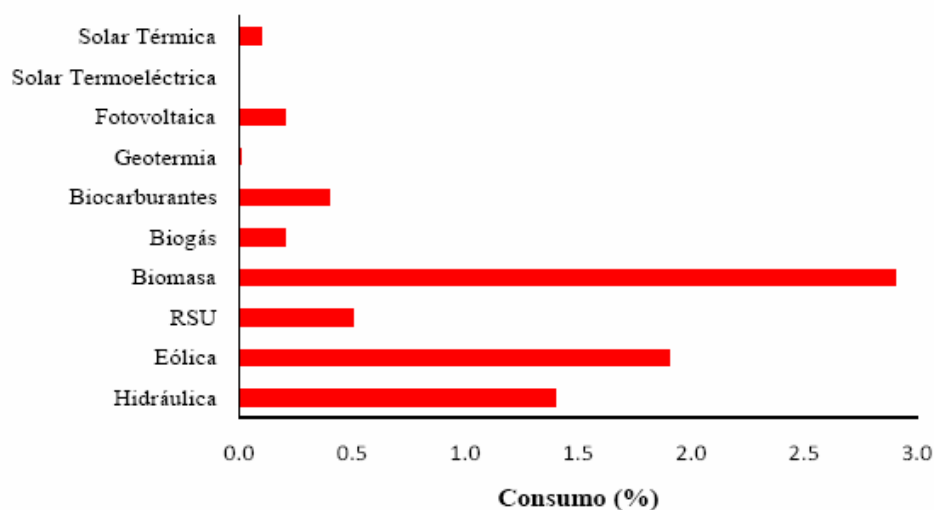
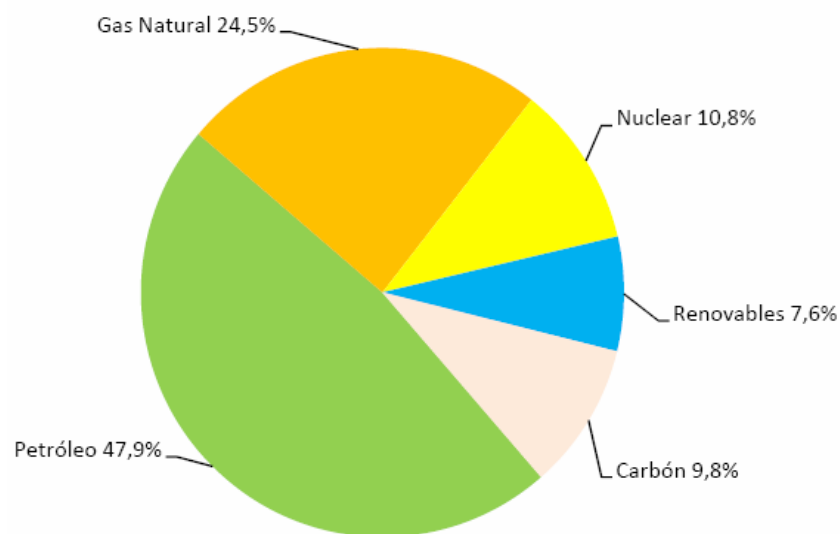


Fig. 6. Consumo de energía primaria 2008. Contribución por fuentes energéticas (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Datos provisionales/IDEA, 2010. Consumo de energías renovables. RSU, Residuos Sólidos Urbanos. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Datos provisionales (2010).

La biomasa es una fuente de energía renovable clave en los objetivos energéticos que se han planteado tanto en Europa como en España. Dichos objetivos se centran en la diversificación energética, disminución de la dependencia energética externa, y en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (BIOPLAT 2010).

En 2008, el Plenario del Parlamento y el Consejo Europeo llegaron al acuerdo en la configuración del llamado Paquete de Cambio Climático-Energía, que incluye las siguientes normativas:

1. Directiva relativa el fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables establece un objetivo mínimo de cuota de energía de origen renovable en su consumo final bruto de energía en 2020, en cada Estado Miembro. Estos objetivos nacionales obligatorios son: participación de un 20% de energías renovables en el consumo final bruto de la Unión Europea en 2020; y además participar en la renovación de al menos un 10% del consumo de la energía de transporte.

2. Directiva por la que se modifica la Directiva 98/70/CE en relación con las especificaciones de la gasolina, el diesel y el gasóleo, se introduce un mecanismo para controlar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ocasionadas por la utilización de combustibles por transporte de carretera, se modifica la Directiva de 1999/32/CE en relación a las especificaciones del combustibles utilizado en buques de navegación interior y se deroga la Directiva 93/12/CEE.

3. Directiva por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfecciones y ampliar el régimen comunitario de Comercio de Derechos de Emisión de gases de efecto invernadero.

4. Decisión sobre el esfuerzo que tendrán que desplegar los Estados Miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020.

5. Directiva relativa al almacenamiento geológico de CO₂ y por la que se modifican las Directivas 85/337/CEE y 96/61/CE, y las Directivas 2000/60/CE, 2001/80/CE y el reglamento (CE) nº 1013/2006.

6. Reglamento por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir la emisiones de CO₂ de los vehículos.

Hasta ahora, la fuente principal de biomasa para uso energético han sido los residuos, principalmente para su empleo como biocombustibles sólidos (Fernández-González 2009). Aparentemente tienen muchas ventajas, porque están acumulados, parece que son gratis y con su utilización se reducen los problemas medioambientales, pero esta fuente de energía no es capaz de satisfacer el resto de la demanda energética que existe.

La alternativa a los residuos es la biomasa producida expresamente para fines energéticos, es decir, los cultivos energéticos. Hasta ahora este tipo de planteamiento es el que se ha venido utilizando para la producción de biocarburantes (bioetanol y biodiésel), pero con cultivos tradicionales dedicados a esta finalidad. Estos cultivos han tenido tradicionalmente otros usos, pero ante la necesidad y la falta de otras alternativas, se están utilizando para fines energéticos, lo que está provocando serios problemas de abastecimiento y de encarecimiento en los países productores. Tal es el problema que está surgiendo de ciertas plantas oleaginosas, que se está desplazando el consumo a otras especies alternativas por la imposibilidad de hacer frente a los costes en el mercado. Por otra parte, la utilización de productos que se emplean como alimentos para la producción de carburantes puede utilizarse de forma demagógica para impedir el desarrollo de biocarburantes por parte de los sectores no interesados en el crecimiento de estos productos.

Por todo esto, el cultivo de microalgas se presenta como la mejor de las alternativas en la utilización de biomasa para uso energético, ya que pueden llegar a ser uno de los recursos mejor aprovechados y que pueden llegar a cumplir buena parte de los objetivos marcados. Además de la producción de biodiesel limpio, cumple perfectamente con las especificaciones de los sistemas de sostenibilidad medio-ambiental: no es necesario ocupar suelo fértil como pasa con otros cultivos oleaginosos, no se contamina el medio, no es necesario la utilización de aguas de riego o de consumo humano, la utilización de fertilizantes se puede minimizar notoriamente, se pueden utilizar para disminuir considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero de las fábricas o centrales energéticas, se pueden aprovechar las aguas residuales tanto industriales como urbanas, etc. Por sus características particulares de crecimiento son capaces de producir más de 25 veces la cantidad de aceite (por año y por unidad de área) cuando se la compara con las mejores fuentes terrestres productoras de aceite (Chisti, 2005). Es así que se presentan como un complemento antes que como competencia para otras tecnologías de combustibles basadas en biomasa (BIOPLAT 2010).

2.- OBJETIVO.

El objetivo del presente proyecto es el diseño de una planta para la producción de biomasa de microalgas con fines energéticos. En este marco, se deben de adoptar una serie de criterios a cumplir:

- Obtener un balance energético positivo;
- Obtener un balance ecológico positivo; y
- Económicamente competitivo frente a los combustibles fósiles convencionales.

Para el desarrollo y viabilidad de este proyecto es necesario contemplar los puntos básicos del proceso entre las que hay que destacar:

1. Selección de las mejores cepas de microalgas.
2. Seleccionar la ubicación idónea.
3. Seleccionar la tecnología de cultivo más adecuada: aumento de la producción, eficiencia energética y mejora de materiales.
4. Optimizar el cosechado y procesado de la biomasa: procesos de preconcentración, deshidratación y estabilización.

Se diseña una planta de demostración de 10 Ha, que es el tamaño de las plantas europeas de demostración actuales, en la que se debe obtener una producción mínima de biomasa anual de 100 Tm/Ha. Para obtener un balance energético positivo el consumo energético debe ser inferior al 25% de la energía producida.

3.- LOCALIZACIÓN.

La localización de una planta de microalgas con fines energéticos debe seleccionarse en base a todos los factores anteriormente expuestos de disponibilidad de recursos, etc. Sin embargo, en este caso, al tratarse de una planta demostrativa se ha priorizado la disponibilidad de recursos (agua, nutrientes, CO₂, luz y temperatura) frente a otros factores económicos o de logística. La ubicación seleccionada está próxima a la depuradora de aguas residuales del Toyo en Almería, ya que se pretende utilizar las aguas procedentes de tratamiento secundario de dicha planta, así como los gases de digestión generados en la misma que serán combustionados como fuente de electricidad y CO₂. Actualmente esta planta no dispone de turbinas de combustión de biogás por ser baja su producción del dicho gas, pero se ha contemplado la combustión adicional del lodo generado en dicha planta, en una caldera para producir todo el CO₂ necesario para la producción de microalgas. Así mismo, el agua utilizada, una vez aprovechados de ella todos los nutrientes inorgánicos contenidos en la misma, será revuelta a la planta de aguas residuales para su gestión con el resto de efluentes de la planta. En este caso el agua es aprovechada para el riego de las zonas verdes del Toyo y de Retamar, así como para fuentes y demás espacios del entorno que utilizan agua.

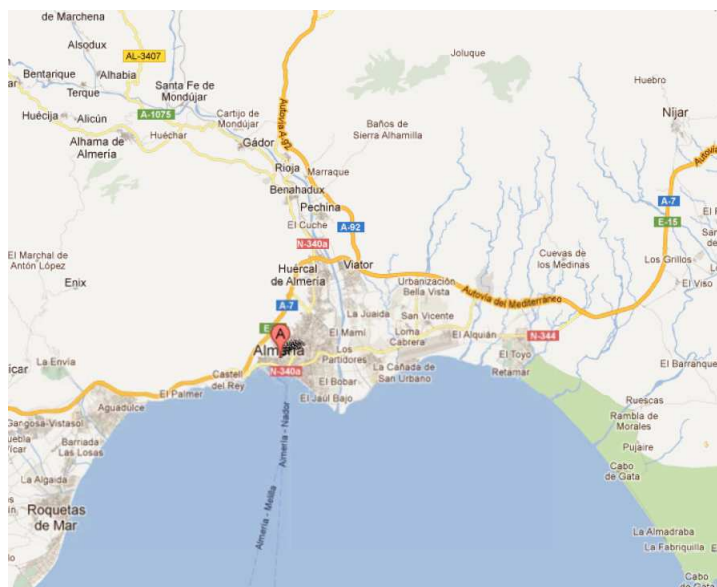


Fig. 7. Imagen de la zona seleccionada para la ubicación de la planta de producción de microalgas con fines energéticos.

4.- JUSTIFICACIÓN

La justificación del proyecto se deriva de la necesidad de corroborar a escala preindustrial la capacidad que las microalgas tienen de contribuir a la producción de energía en forma de biocombustibles. Se plantea por tanto este proyecto como la construcción de una planta de producción real, optimizada en cuanto a sus consumos de energía y materias primas, así como en su diseño, que permita producir de forma estable la cantidad de biomasa suficiente para hacer viable el proceso.

Para conseguir una productividad adecuada de microalgas para la obtención de biodiesel es necesario diseñar y operar de forma adecuada el sistema de producción. Todas las variables implicadas pueden ser controladas mediante el adecuado diseño del sistema. Sin embargo, hay una variable muy importante dentro de la producción de microalgas que no puede ser controlada, y es la radiación solar. La radiación solar que llega al cultivo depende de la situación de la planta de producción, por lo que la elección del emplazamiento tiene una enorme trascendencia. Debido a esto, la situación geográfica elegida es la provincia de Almería, dado que permite mantener el cultivo a pleno rendimiento por el aporte de radiación diario y extenderlo a todo el año gracias a las horas solares anuales y temperaturas que se tienen en esta zona. No se debe parar la producción, excepto por causas o motivos mayores, ya que el simple hecho de parar un mes, conllevaría a perder varios meses de producción (tiempo que tardaría en reactivarse todo el sistema).

El acoplamiento del sistema con la planta de aguas residuales permite aprovechar sinergias entre ambos procesos y reducir los costos de operación de la producción de microalgas pero sobre todo garantiza la disponibilidad de recursos, agua y CO₂, imprescindibles para la producción de microalgas.

5.- SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

5.1.- Diagrama de bloques

A continuación se muestra el diagrama de bloques de la producción de biomasa de microalga para la obtención de biodiesel. En el esquema se distinguen las tres etapas principales del proceso: acondicionamiento del agua, reactor biológico, y separación de la biomasa. Para cada una de estas etapas se estudiarán las alternativas disponibles, eligiendo la más adecuada según el objetivo final.

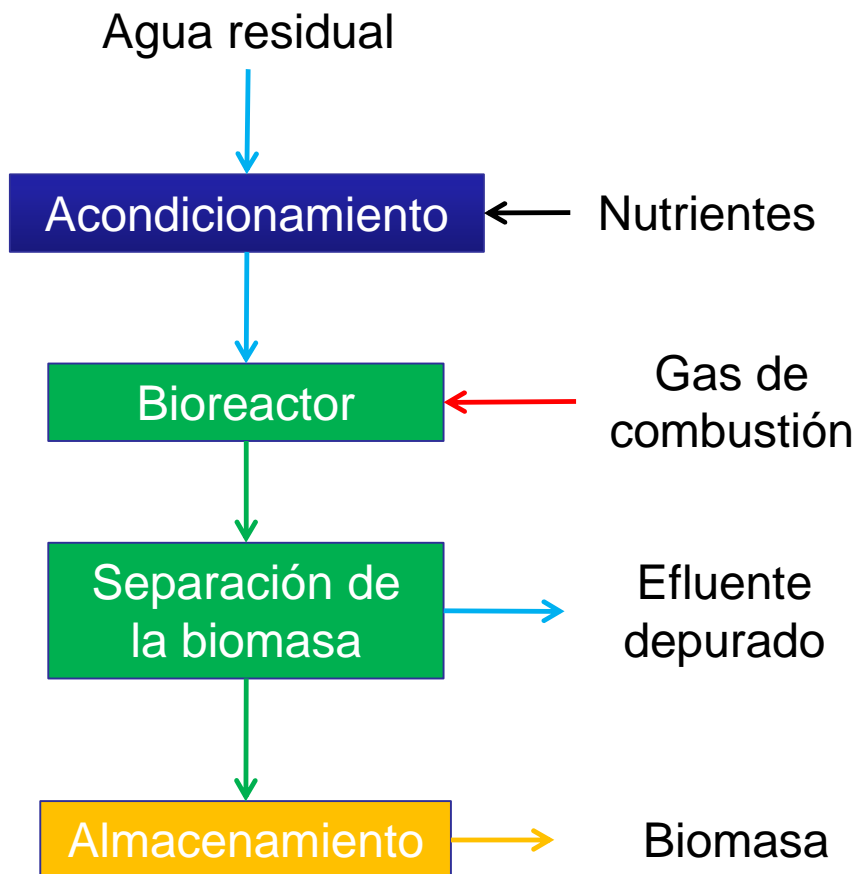


Fig. 8. Diagrama de bloques del proceso propuesto.

5.2.- Acondicionamiento del agua

5.2.1.- Medio de cultivo

Para el cultivo de microalgas a gran escala es necesario contar con un medio de cultivo provisto con los nutrientes necesarios para el crecimiento y generación de la biomasa de microalga con las características deseadas. En la selección del medio es necesario tener en cuenta el tipo de microalga utilizada, debido a que cada especie tiene unos requerimientos diferentes.

Uno de los medios de cultivo universalmente más utilizados es f/2, que ha demostrado ser eficiente para el crecimiento de un gran número de microalgas, pero que demanda la utilización de una gran cantidad de nutrientes (Torretera, L. 1989).

Nutrientes	Solución Stock	ml/l
1,- Nitratos sódico	75 g/L	1 ml
2,- Fosfato de sodio	5 g/L	1 ml
3,- Metasilicato de sodio	30 g/L	1 ml
4,- Metales trazas:		1 ml
- Cloruro de férrico	3,15 g/L	
- EDTA sal sódica	4,36 g/L	
- Solución sulfato de cobre (9,8 g/L)	1 ml	
- Solución sulfato de zinc (22 g/L)	1 ml	
- Solución de Cloruro de cobalto (10 g/L)	1 ml	
- Solución de Cloruro de manganeso (180 g/L)	1 ml	
- Solución de Molibdato de sodio (63 g/L)	1 ml	
5,- Vitaminas		0,5 ml
- Cianocobalamina	0,001 g/L	
- Tiamina	0,02 g/L	

Tabla 1. Contenido en nutrientes del medio f/2.

Existen otros muchos medios ampliamente utilizados, como el medio Arnon (principalmente para especies de agua dulce) (Arnon et. al. 1974), y otros, pero en todos ellos el aporte de nutrientes se hace a partir de sales puras

ya que son medios formulados para laboratorio. Los nutrientes más importantes son siempre el nitrógeno y el fósforo. Éstos pueden ser también suministrados en forma de fertilizantes agrícolas, que suelen estar disponibles, pero también pueden suponer un factor de coste significativo (Chisti, 2008).

Existen otras fuentes de nutrientes más baratas como pueden ser aguas residuales urbanas o de tipo industrial, combinadas con aportes de fertilizantes en el caso de necesidad nutricional. Las microalgas mediante estrés nutricional (deficiencia nutricional), son capaces de acumular ácidos grasos, pero con ello se disminuye la productividad de biomasa; un rápido crecimiento conlleva a un bajo contenido en lípidos en unas condiciones nutricionales óptimas, o por el contrario, una disminución del crecimiento o un crecimiento nulo conllevan a un aumento de los lípidos bajo condiciones nutricionales deficientes. Un proceso ideal para la producción de aceites, requiere de una alta productividad de biomasa y un alto contenido de lípidos. Por otro lado, las microalgas cultivadas bajo diferentes condiciones de iluminación pueden asimilar el CO₂ y dirigirlo hacia diferentes rutas metabólicas, obteniendo diferentes productos intracelulares según las necesidades de las células, y con ello también pueden aumentar el contenido en lípidos. (Rodolfi *et al.*, 2009,; Jacob-Lopes *et al.*, 2009b).

Si la estrategia es utilizar fuentes nutricionales baratas para abaratar costes de producción, como es el caso de aguas residuales, lo interesante sería utilizar como referencia una de las recetas de medio que satisface las necesidades de la cepa seleccionada y aportarle en fertilizantes la carencia nutricional que el agua pueda tener. Para conseguir esto, se deben conocer de antemano las características del agua a utilizar y que componentes presenta. Habitualmente, los medios se preparan inicialmente en soluciones concentradas y después se dosifican según la receta elegida. Si se trata de aguas residuales urbanas precedentes de plantas depuradoras (EDAR) lo conveniente es que estas aguas hubieran pasado previamente por algún sistema de esterilización como ozono para evitar problemas con patógenos y bacterias indeseables que pudieran poner en peligro a los operarios o a los propios cultivos de microalgas.

5.2.2.- Preparación del medio

Para la preparación del medio se puede optar por no hacer ningún tratamiento ni adición de nutrientes y utilizar el agua según venga del lugar de origen, o en el extremo opuesto añadirle al agua toda la carga de fertilizantes para saturar el crecimiento de las microalgas y realizar además un tratamiento de esterilización del agua intenso.

Dado que en este proyecto se persigue la producción de biomasa como fuente de energía solo se pueden considerar las metodologías de preparación de medio que supongan un menor consumo. Entre ellas está el uso directo del agua residual en el cultivo de microalgas sin alteración alguna ni de composición ni de grado de esterilidad. En este caso sólo es necesario disponer de un recipiente de volumen adecuado para almacenar la cantidad de agua mínima requerida por el proceso para mantenimiento. Sin embargo, el agua residual depurada presenta una composición química no estable, con variaciones en el contenido de los nutrientes principales requeridos por las microalgas como son el nitrógeno y el fósforo. No solo hay cambios en su concentración absoluta, sino también en la relativa, lo que puede poner en peligro la viabilidad de los cultivos en determinadas circunstancias. Para prevenir esto se puede instalar un equipo de fertirrigación que continuamente esté monitorizando la composición del agua residual de entrada y en base a límites críticos predefinidos le aporte a la misma cantidades suficientes de nutrientes en forma de fertilizantes, que eviten el daño de los mismos.

En cuanto al grado de esterilidad del agua residual, al igual que en el caso de la composición química, el agua residual depurada puede presentar oscilaciones notables en cuanto a la carga de microorganismos presentes y la tipología de los mismos. Es típico que en los procesos biológicos de depuración de aguas residuales se produzca el fenómeno de bulking que tiene lugar cuando proliferan en demasía las bacterias filamentosas. Esos u otros microorganismos pueden provocar daños a los cultivos y para prevenirlo se pueden instalar equipos de esterilización del agua, ya sea por UV, ozono, u dosificación química, que permitan puntualmente actuar sobre el medio de cultivo y adecuarlo a los requerimientos mínimos del proceso.

5.3.- Bioreactor

En cuanto a la selección de alternativas para el diseño y operación del reactor, las variables a considerar y de las que depende el diseño final seleccionado son (i) el microorganismo y (ii) el tipo de reactor.

5.3.1.- Selección de la microalga

Los criterios selectivos más importantes a la hora de seleccionar una microalga son:

1. Producción volumétrica total;
2. Tolerancia térmica;
3. Resistencia a condiciones de cultivo adversas;
4. Multiutilidad potencial de la biomasa: gama de mercados complementarios, biorrefinerías (obtención de subproductos destinados a la obtención de energía, como bioetanol, biogas, etc.).
5. Menor adherencia al material del fotobiorreactor;
6. Facilidad de cosechado;
7. No debería considerarse la monoespecificidad como requisito del cultivo y deberían aceptarse las transiciones naturales.
8. Las especies o cepas de microalgas mas apropiadas deben ser las que más producción de biomasa generen en el sistema más barato, y deben ser preferentemente las locales, según el lugar elegido para la planta, para evitar problemas de competencia con otras especies.

El factor determinante en la selección del microorganismo es la tolerancia a las condiciones ambientales y tipo de agua utilizada. En el caso del empleo de aguas residuales como medio de cultivo se deben seleccionar cepas de agua dulce, de alta velocidad de crecimiento y tolerancia a contaminaciones. Generalmente se emplean cepas del género *Chlorella* o *Scenedesmus*. Las microalgas de estos géneros muestran elevadas velocidades de crecimiento incluso en sistemas abiertos a la intemperie y se han utilizado en procesos de depuración de efluentes de origen animal e industrial, apareciendo de forma natural en ambientes acuáticos con mínimas concentraciones de nutrientes.

5.3.2.- Selección del bioreactor

Hay dos diseños básicos para la producción a gran escala de estos microorganismos: los sistemas abiertos, en los que el cultivo está expuesto a la atmósfera; y los sistemas cerrados, que tienen protección del medio ambiente y de las condiciones ambientales.

5.3.2.1.- Sistemas abiertos:

Raceway o sistemas en carrusel:

Es uno de los tipos más conocidos. Se trata de canales poco profundos (20-30 cm), aunque en la actualidad se están estudiando a mayores profundidades consiguiendo con ello mayor volumen de reactor, en forma de circuito cerrado. El cultivo circula por unas pistas siendo impulsadas por unas ruedas de paletas, hélices, inyectores de aire, etc. Estos canales son construidos con múltiples materiales (plásticos, arcillas revestidas, etc.) generalmente aquellos que te permitan coloraciones blancas o claras para la mayor captación o aprovechamiento de la luz solar. También se suelen utilizar materiales que aumentan el deslizamiento y la no adherencia para evitar que el cultivo se asiente en el fondo y no se movilice. Aunque esto último puede resolverse utilizando pinturas antideslizantes o similares compatibles con los materiales utilizados y con las condiciones de operación. Es importante que no presenten ensamblajes o tornillos en las partes internas del reactor para evitar zonas muertas donde se acumulen materia orgánica en descomposición y dificulte su limpieza. Son reactores productivos y baratos.

Sistemas inclinados:

La turbulencia del reactor es creada por la propia gravedad. Presenta una serie de inconvenientes tales como la sedimentación de las células en los que la velocidad de flujo es menor, la fuerte evaporación debido a la fina capa de cultivo que se crea, la ineficiente utilización del terreno, o el alto coste energético para la movilización del cultivo.

Tanques circulares:

Se trata de grandes tanques circulares, normalmente de construcciones de hormigón, provistas de una única pala que permite la movilidad de todo el cultivo de forma radial. Este sistema presenta una serie de desventajas tales como la ineficiente utilización del terreno, las caras construcciones de hormigón

y el alto consumo de energía que conlleva mover los grandes volúmenes de cultivo. Al igual que el anterior caso, no es un sistema comercial que se emplee.

5.3.2.2.- Sistemas cerrados:

Un fotobiorreactor es un sistema de cultivo de organismos fotótrofos en el que el cultivo no tiene contacto con el medio ambiente. Los principales tipos de fotobiorreactores son:

Fotobiorreactores tubulares:

Se utilizan tubos de material transparente para el paso de luz, dispuestos en serie o en paralelo. El cultivo se recircula mediante una bomba o con sistema airlift (sistemas de impulsión neumática), desde un tanque o columna. La principal desventaja es la dificultad de controlar la temperatura en sistemas voluminosos, y la acumulación del oxígeno fotosintético que es factor limitante cuando llega a niveles de contaminaciones tóxicas. Son sistemas muy productivos y permiten cultivos monoalgales por periodos de tiempo prolongados; pero al mismo tiempo son sistemas muy caros y que requieren de un gran aporte energético. Se utilizan para la obtención de productos de alto valor añadido, alta riqueza y tasas de contaminación muy bajas o nulas.

Fotobiorreactores planos:

Consisten en estructuras planas transparentes, de diversos materiales (plásticos, metacrilatos, etc.), en las que se mantiene una elevada relación superficie/volumen, la agitación de los cultivos se obtiene por medio de sistemas de burbujeo. El mayor inconveniente de este sistema es que a escala industrial se producen problemas de desarrollo del cultivo debido a que las células se terminan depositando en las paredes del reactor sombreando parcialmente el reactor y evitando que llegue la radiación a todo el cultivo. Las burbujas que ascienden verticalmente y de forma lineal no pueden dispersar los depósitos formados de células, con lo que el cultivo alcanza bajas productividades y muere prematuramente. Pueden ser totalmente verticales o inclinados. Estos últimos pueden tener una determinada inclinación con respecto al plano vertical retrasando la aparición de sedimentos celulares en la pared superior del reactor.

Columnas verticales:

Son sistemas muy simples en los que la mezcla se obtiene inyectando aire en el fondo de la columna. Son muy utilizados en laboratorio y para la obtención de inóculos. La desventaja es la relativa baja relación superficie/volumen y la dificultad para manejar un gran volumen de cultivo.

5.4.- Sistemas de cosechado y separación:

Para la separación de la biomasa existen varios métodos posibles. Entre las cualidades que debe cumplir el proceso empleado está la eficiencia y la economía del mismo. Los principales métodos disponibles para llevar a cabo la operación son: sedimentación, filtración y centrifugación. Estos procesos se pueden llevar a acabo con o sin coagulación-floculación previa.

5.4.1.- Coagulación-Floculación

Para mejorar la separación de partículas de una fase líquida existen alternativas como el uso de coadyuvantes y floculantes. La coagulación se lleva a cabo con sales de Fe y Al con cationes di y trivalentes (FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), estas reducen la carga superficial negativa de los coloides dando lugar a una reducción de la repulsión electrostática y, por tanto a un aumento de la aglomeración y de la sedimentación. Existen dos fuerzas importantes que actúan sobre los coloides: las repulsiones electrostáticas que dominan a grandes distancias (los coloides se repelen ya que están cargados negativamente); y las atracciones intermoleculares de Van der Waals que tienen lugar a distancias cortas. Los coagulantes reducen las fuerzas repulsivas electrostáticas, reducen las distancias entre coloides y permiten que actúen las fuerzas de Van der Waals.

Los coagulantes constituidos por metales pesados están prohibidos en piensos o similares, ya que son tóxicos para el individuo. La coagulación también puede ocurrir mediante cambios en el pH, adicionando algún compuesto que modifique el pH sin llegar a dañar las células, y ajustando posteriormente el pH.

Los floculantes son polímeros catiónicos solubles que neutralizan la carga superficial negativa de los coloides, alterando las interacciones repulsivas electrostáticas entre las partículas coloidales y/o formando puentes entre ellas.

Los agentes floculantes son más efectivos cuanto mayor es: su peso molecular (mejor es el mecanismo de formación del puente); densidad de carga (más extendida es la conformación molecular y mejoran la formación de puentes y/o la neutralización de cargas). Uno de los floculantes más utilizado es el quitosán (Molina *et al.*, 2003), que es un floculante de origen natural, aunque este no se puede utilizar para biomasa destinada a piensos, ya que es un inhibidor de la grasa.

5.4.2.- Decantación

El decantador o espesador es un equipo en el que se aumenta la concentración de una suspensión por medio de la sedimentación, con la formación de un líquido 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. Dispone frecuentemente de un lento agitador, que provoca una disminución de la viscosidad aparente de la suspensión y colabora también a la consolidación del sedimento.

El decantador continuo consiste en un depósito poco profundo de gran diámetro y fondo plano. La alimentación entra por el centro, a una profundidad de treinta a cien centímetros por debajo de la superficie del líquido, con la menor turbulencia posible. El líquido espesado es retirado continuamente a través de una salida situada en el fondo, y los sólidos depositados son dirigidos hacia esta salida por medio de un rastrillo provisto de rasquetas que gira lentamente. El líquido clarificado se retira continuamente a través de un rebosadero que rodea completamente al borde superior del depósito.

La capacidad de clarificación está determinada por el diámetro del depósito, y el grado de espesamiento de la suspensión por el tiempo de residencia de las partículas en el mismo, el cual viene dado por la profundidad existente por debajo de la entrada de la alimentación. El funcionamiento satisfactorio del espesador como clarificador depende de la existencia en la parte superior de una zona de contenido de sólidos despreciable.

El separador laminar es un equipo para la separación de la biomasa que combina la técnica de filtración y sedimentación, actúa por sedimentación mediante gravedad natural a través de láminas inclinadas que permiten que el

sedimento vaya hacia abajo sin ningún impedimento y se deposite en un contenedor del cual se puede recoger la biomasa.

5.4.3.- Filtración:

La filtración es un método muy utilizado para la separación de sólidos contenidos en un líquido con un alto grado de concentración. Dentro de este método, la filtración por gravedad es el método más sencillo y económico. Es una técnica muy ineficaz en la mayoría de las especies de algas unicelulares, no presentando buenos resultados a escala industrial. En los últimos años se han llevado a cabo cosechados por medio de filtración tangencial, sin embargo son escasos los estudios comparativos de eficacia y coste entre las distintas técnicas de cosechado. A continuación se describen algunos equipos de filtración.

Filtro prensa de placas y marcos

El filtro prensa se construye en dos formas principales, la prensa de placas y marcos y la prensa de placas rebordeadas o de cámaras. El filtro consiste en una serie de placas y marcos ordenados de forma alternada y soportados por un par de raíles. La placa tiene una superficie acanalada o estriada y el marco hueco está separado de ésta por la tela filtrante. Ha de utilizarse la mínima presión posible para reducir el desgaste de las telas. El espesor de la torta no puede variarse. Las suspensiones conteniendo partículas sólidas relativamente grandes pueden tratarse fácilmente en este tipo de prensa sin temor a que se obturen los canales de alimentación. Los desarrollos efectuados en los filtros prensa en la última década han sido dirigidos a la fabricación de grandes unidades. Estos filtros se pueden abrir y cerrar de forma automática.

Las ventajas del filtro prensa son:

- Gran versatilidad. Coste de mantenimiento bajo.
- Gran área filtrante en un espacio reducido, requiriéndose pocas unidades adicionales.
- Juntas externas, detectándose fácilmente las fugas.
- Se obtienen fácilmente elevadas presiones.

Inconvenientes del filtro prensa:

- Funcionamiento intermitente, provocando elevados desgastes en las telas.

- No es adecuado para tratar grandes cantidades.

Filtro de hojas

La necesidad de desarrollar unidades de capacidad mucho mayor condujo a la introducción de los filtros de hojas; éstos fueron desarrollados sucesivamente por Moore, Kelly, Sweetland y Vallez. El filtro Moore funciona a vacío y ha sido concebido esencialmente para dar grandes áreas utilizando una construcción sencilla. Funciona a presión reducida, por lo que la diferencia de presión es limitada, y no pueden filtrarse líquidos calientes, ya que entran fácilmente en ebullición. Hoy en día se utiliza raramente. En los otros tres tipos las hojas están contenidas en una carcasa, permitiendo así la operación bajo presión. Las características más importantes son la uniformidad y separación de la torta, la facilidad de lavado y la facilidad de instalación de la tela. El filtro Sweetland supera muchos de los inconvenientes presentados por los otros filtros de hojas. La torta, más uniforme, puede descargarse sin desmontar las

Filtro rotatorio continuo

Los dos principales tipos de filtros rotatorios continuos son el de tambor rotatorio y el de discos. Son filtros de succión en los que filtración, lavado, secado parcial y descarga de la torta tienen lugar automáticamente. Puede obtenerse un funcionamiento muy económico, especialmente si la alimentación es una suspensión espesa.

Filtro de tambor rotatorio

Tienen una capacidad comprendida normalmente entre 0,1 y 5 kg de sólido/m²s, variando según la naturaleza de la torta. Tiene lugar a presión prácticamente constante, excepto en la fase inicial. Se fabrican para dar superficies de filtración de 0,37 – 93 m².

Ventajas del filtro de tambor rotatorio:

- Funcionamiento automático.
- Formación de tortas de cualquier espesor alterando la velocidad de rotación del filtro. El espesor suele ser desde 3 mm para sólidos finos hasta 100 mm para sólidos muy gruesos.
- Capacidad grande, dado su tamaño y es ampliamente utilizado para grandes cantidades de materiales de fácil filtración.

- Si la torta es de sólidos gruesos, puede separarse de ella la mayor parte del líquido antes de descargarla.

Inconvenientes del filtro de tambor rotatorio:

- Es un filtro de vacío y, por tanto, la diferencia de presiones máxima disponible es limitada, resultando difícil la filtración de líquidos calientes debido a su tendencia a la ebullición.
- No puede utilizarse para tortas relativamente impermeables o difíciles de separar de la tela. Se pueden mejorar utilizando coadyuvantes.
- Difícil lavado.
- Es difícil obtener una torta seca.
- Gastos elevados.

Filtro rotatorio de discos

Su funcionamiento es muy parecido al del filtro de tambor, pero proporciona un peor lavado y la descarga de la torta es más difícil. Su principal ventaja sobre éste es que proporciona un área de filtración mucho mayor en el mismo espacio. Si la torta debe lavarse, el filtro rotatorio de tambor es preferible al de hojas. Ofrecen una gran capacidad con relación a su tamaño y no requieren mucha atención manual. Son adecuados para filtración a gran escala excepto si la resistencia específica es elevada, si se requiere un lavado eficaz o si en el líquido se encuentran presentes únicamente muy pequeñas cantidades de sólidos.

Filtro de banda horizontal

Es un filtro continuo de vacío completamente automático. El filtro de banda Landskrona consiste en una banda permeable que pasa sobre dos poleas dispuestas a la misma altura vertical. La suspensión entra por un extremo de la cara superior de la cinta, recogándose el filtrado por debajo. La velocidad de la cinta (aproximadamente 0,05 m/s) y la distancia a la que se aplica la suspensión se ajustan para producir una torta del espesor adecuado. Dicha torta se somete a continuación a la acción de agua de lavado pulverizada y finalmente a un secado por aire; el sólido se descarga al pasar la cinta sobre la polea terminal. Además de las unidades de tipo banda existen las unidades

circulares giratorias. Proporciona una torta muy uniforme, libre de resquebrajaduras; el lavado es por lo tanto bueno. Una desventaja es que al menos la mitad del área filtrante se encuentra ociosa en el circuito de regreso de la banda. El coste por unidad de área es mayor que para el filtro rotatorio.

5.4.4.- Centrifugación:

La centrifugación se emplea con disoluciones biológicas, las cuales son difíciles de separar mediante otros métodos. La velocidad de sedimentación de las partículas en un fluido será mucho mayor en un campo centrífugo que en un campo gravitacional. Además, permite hacer separaciones que la sedimentación gravitacional no es capaz de lograr, ya que las fuerzas centrífugas son mucho mayores. Las centrífugas son ampliamente utilizadas para separar sólidos finos a partir de suspensiones en un líquido. Para trabajo a gran escala, en continuo, debe instalarse algún dispositivo que permita eliminar continuamente los constituyentes separados. Esto implica una clara diferencia en los métodos requeridos según sea la fase dispersa (sólido o líquido). Entre las centrífugas empleadas para soluciones biológicas podemos destacar:

Centrífuga tubular:

Es el equipo más simple. Esta centrífuga se utiliza para rangos de tamaño de entre 0,1 y 200 μm y un contenido en sólidos de 10%. El principal componente de esta centrífuga es su cámara tubular, la cual puede ser de diseño variable dependiendo de la aplicación, se divide en las siguientes partes: un motor o turbina de aire (C), la entrada a la cámara se hace por la boquilla en la parte inferior (D). La alimentación consiste una fase ligera y otra pesada que se introduce por la boquilla (E). Durante la operación los sólidos sedimentan sobre la pared de la cámara mientras los líquidos se separan en fase pesada y ligera en la zona central (H). Las dos fases de los líquidos son separadas en su salida de la cámara por un anillo. Este anillo puede ser de varios tamaños para la separación de los líquidos según sus diferentes densidades.

Las ventajas de esta centrifuga son su elevada fuerza centrífuga, su buen drenaje y fácil limpieza. Las desventajas son su capacidad limitada de sólidos, dificultades en la recolección de los sólidos, pérdida gradual de eficiencia.

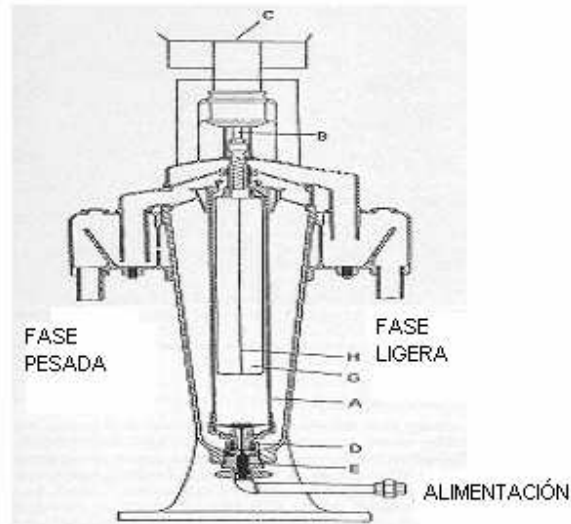


Fig. 9. Sección de una centrifuga Sharples Super-centrifuga.

Centrífuga de cámara y discos:

Es el equipo más empleado en bioseparaciones. Tiene una gran relación área de sedimentación/volumen en los discos cónicos. Cada disco tiene un espacio donde se puede acumular el caldo a separar, dicho caldo, para ser separado se descarga por el tubo central de alimentación, los discos tiene un ángulo de 45° respecto del eje de rotación. El cierre empacado de los discos produce una rápida sedimentación y los sólidos son desplazados hacia el borde de la cámara y son acumulados de forma temporal en el interior de la pared de la cámara. Idealmente, el sedimentador debería formar un lodo que fluiría a la velocidad de la partícula más pesada.

Puede operar en discontinuo y continuo: el alimento entra por el tope y el líquido clarificado sale por una abertura anular cerca de la alimentación.

Es una centrifuga también difícil de limpiar debido a sus discos, sin embargo recientes modelos son diseñados para limpiar in-situ mediante calor de esterilización, produciéndose, además la esterilización de la misma. Los

rangos de alimentación de esta centrífuga son de 45-1800 l/min con una velocidad de rotación típica de 5000- 10000 rpm.

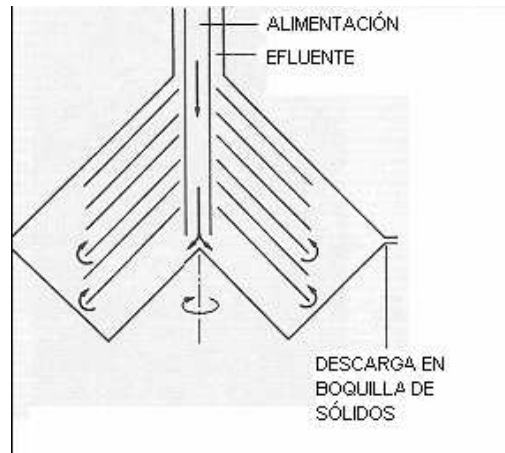


Fig. 10. Centrífuga de cámara y discos con descarga de boquilla.

Centrífuga de cesta:

Es una combinación de centrífuga y filtro. Consiste en una cesta perforada que gira rápidamente. La suspensión se alimenta por el eje y los sólidos se acumulan en la pared de la cesta. El líquido fluye bajo una fuerza centrífuga a través de la torta y sale por las perforaciones de la pared.

Centrífuga decantadora de cámara y tornillo:

Se emplea para soluciones con un alto contenido en biomasa (5-80% v/v). La fuerza centrífuga es pequeña (4000-10000 g). El caudal de alimentación se introduce a través de un eje de tornillo fino que rota de forma horizontal en la cámara. La diferencia de velocidades entre la cámara y el tornillo es del rango de 0,5 y 100 rpm. Los sólidos se fijan a las paredes de la cámara y son forzados hasta el final cónico de la misma. La pendiente cónica ayuda a eliminar los excesos líquidos que quedan en los sólidos antes de descargar. La fase líquida es descargada desde el final opuesto de la cámara. Los diámetros de la cámara oscila entre 0,2-1,5 m, con una longitud de 5 veces el diámetro. Las velocidades de alimentación varían entre 200 l/h a 200 m³/h.

La claridad del caldo no es muy buena. El tornillo descarga continuamente biomasa sedimentada por el extremo estrecho de la cámara giratoria.

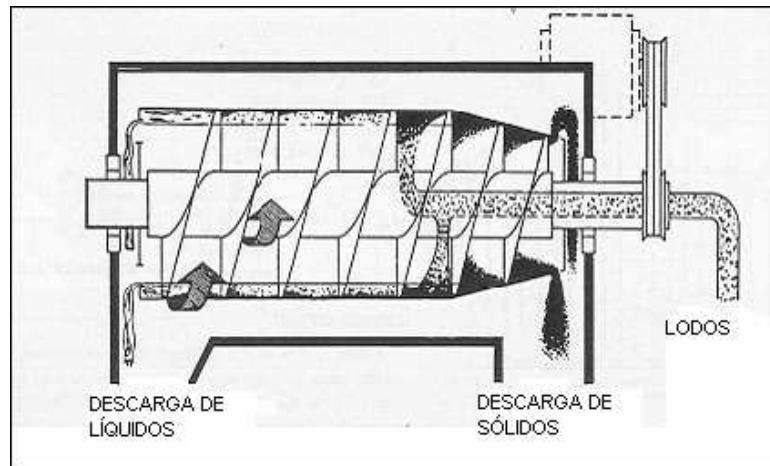


Fig. 11. Diagrama de una centrífuga decantadora.

Centrífuga multicámara:

Idealmente esta centrífuga es para lodos con un 5% en sólidos, cuyo tamaño es de 0,1 a 200 μm de diámetro, tiene una serie de cámaras concéntricas. El caldo entra por el eje central y entonces rota a través de las diferentes cámaras. Los sólidos son recogidos en el exterior de cada cámara, las pequeñas partículas son sometidas a fuerzas centrífugas elevadas.

Aunque estas centrífugas pueden tener una gran capacidad de sólidos, más que las centrífugas de cámara tubular y no pierden tanta eficiencia, su diseño limita su velocidad a 6500 rpm con un diámetro de 46 cm con una capacidad de 76 l.

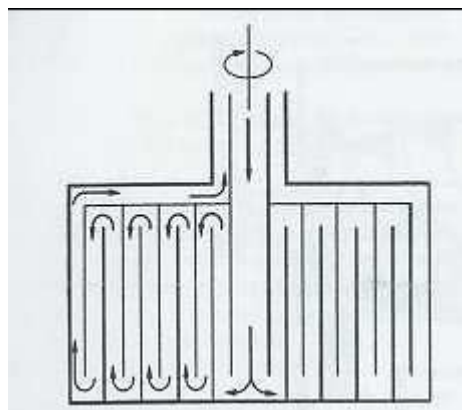


Fig. 12. Centrífuga multicámara.

5.5.- Almacenamiento

El almacenamiento de biomasa, sea cual el tipo de biomasa, es un problema relevante ya que en condiciones naturales el contenido en humedad

de la misma es elevado y ello facilita su rápida descomposición. Para evitar la degradación natural de la biomasa el contenido en humedad de la misma se debe reducir hasta valores por debajo del 5%, por lo que la diferencia entre el contenido inicial de la biomasa y dicho valor marca las necesidades de secado y por tanto el consumo de energía de dicho proceso.

Otro método de estabilizar la biomasa para su almacenamiento es mediante enfriamiento, con lo que no sería necesario reducir el contenido inicial de humedad. De esta forma la degradación del material se ralentiza por inactivación de las bacterias y microorganismo que la pueden producir. El coste energético de este proceso lo determina la temperatura inicial de la biomasa y su capacidad calorífica, y aunque en términos energéticos es menor que el coste de secado, la necesidad de mantener la baja temperatura en el tiempo dificulta el uso de este tipo de metodologías.

La tercera posibilidad para la estabilización de la biomasa sería su inactivación química. Ello consiste en añadir a la biomasa algún agente químico o biológico que impida su degradación por los microorganismos naturales. Este tipo de estabilización no se aplica nunca a biombras completas pero si a fracciones de las mismas como extractos proteínicos, etc. Los compuestos normalmente utilizados son ácidos, aunque en aplicaciones especiales se pueden emplear otros como azida sódica, etc. El problema de este tipo de metodologías es que “contaminan” la biomasa y ello puede impedir su posterior aprovechamiento.

6.- DISEÑO FINAL

6.1.- Acondicionamiento

Se considera el uso del agua residual tal cual llega procedente de la planta de aguas residuales, pero con la opción de disponer de un equipo de fertirrigación que le aporte los nutrientes mínimos para el correcto desarrollo de los cultivos en caso de defecto. Además se incluye la opción de esterilizar parcialmente el agua, para reducir su carga microbiológica en caso de excesos del mismo o grave perjuicio para los cultivos. La esterilización se llevará a cabo por medio de la radiación ultravioleta proporcionada por lámparas UV, incorporadas a las tuberías de entrada de agua a la planta.

6.2.- Bioreactor

Se considera el uso de microalgas del género *Scenedesmus* por ser las más robustas y habituales en sistemas de depuración de efluentes. En concreto las especies *Scenedesmus subspicatus* que ha demostrado buenos resultados en laboratorio y a nivel de planta piloto. En cuanto al bioreactor, por su facilidad de escalado y bajo coste así como reducido consumo energético se considera el uso de reactores abiertos tipo raceway. En dichos reactores se inyectarán gases de combustión como fuente de CO₂.

6.3.- Separación

Para la separación de la biomasa se considera más adecuado realizar un proceso de floculación-decantación seguido de una centrifugación para reducir el contenido en humedad hasta el 75%. El objetivo es conseguir un material fluido que pueda ser fácilmente trasvasado y transportado para su posterior aprovechamiento.

6.4.- Almacenamiento

En cualquier proceso industrial real el almacenamiento de la biomasa debe ser mínimo para evitar la descomposición de la misma, por lo que la biomasa cosechada y parcialmente deshidratada debería ser directamente utilizada en el proceso de producción de energía (biodiesel). Sin embargo, ya

que se trata de una planta piloto y no existe una planta de aprovechamiento de la biomasa acoplada a la planta de producción de la misma, se incluye una etapa de almacenamiento en frío, con capacidad para almacenar la producción de una semana completa. Para optimizar la calidad de la biomasa obtenida se considera necesario instalar un cambiador de calor a la salida de la centrífuga que permita enfriar el lodo de biomasa hasta 3°C de forma continua, y posteriormente una cámara frigorífica con capacidad para cinco contenedores, cada uno con una capacidad de almacenamiento igual a la de producción de un día completo.

6.5.- Diagrama de bloques

A continuación se muestra el diagrama de bloques detallado del proceso. Se incluye una etapa de acondicionamiento del medio que no es constante sino dependiente de la composición del agua residual de entrada. El agua residual se utiliza para la producción de biomasa de microalgas en un bioreactor usando gases de combustión como fuente de CO₂. La biomasa es recuperada mediante una etapa de floculación-decantación, y posterior centrifugación, generándose un lodo concentrado del 20% m.s. y un efluente depurado que se devuelve a la planta de aguas residuales. El lodo de biomasa concentrada se enfría en un cambiador de calor y se almacena en una cámara fría hasta su posterior aprovechamiento.

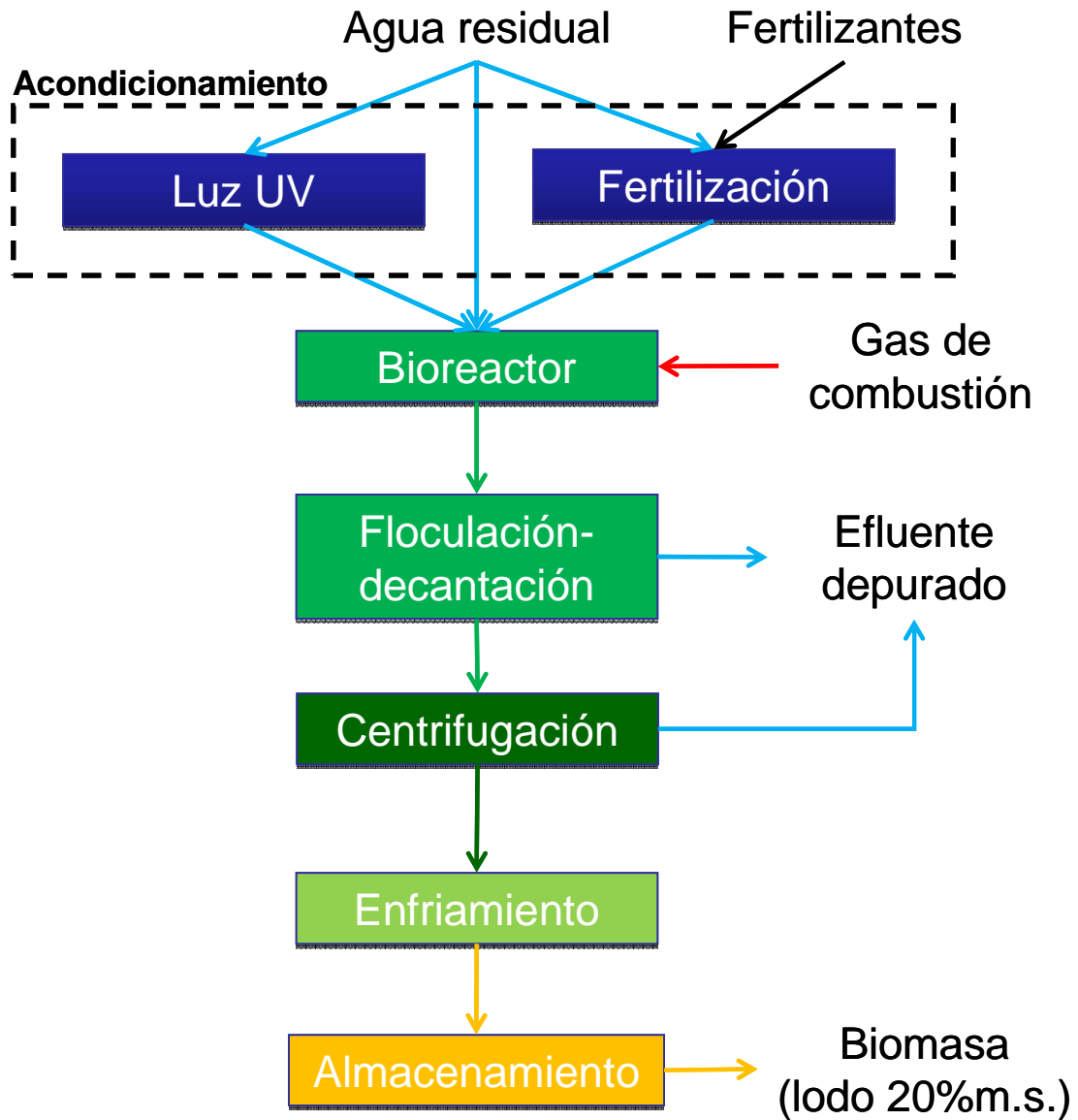


Fig. 13. Diagrama de bloques detallado del proceso propuesto.

DOCUMENTO 2:

MEMORIA

DESCRIPTIVA

ÍNDICE

1.- LOCALIZACIÓN.....	2
2.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.....	3
2.1.- Diagrama de bloques.....	3
2.2.- Diagrama de flujo.....	5
2.3.- Etapas del proceso	6
2.3.1.- Acondicionamiento del agua.....	6
2.3.2.- Fotobiorreactores.....	8
2.3.3.- Floculación-decantación.....	10
2.3.4.- Centrifugación.....	12
2.3.5.- Enfriamiento del lodo de microalga.....	12
2.3.6.- Almacenamiento.....	13
2.4.- Equipos correspondientes a la línea de gas.	14
2.4.1.- Caldera de biomasa.....	14
2.4.2.- Intercambiador de calor de tubos E-5.....	14
2.4.3.- Soplante.	15
2.5.- Red de tuberías y bombas.....	15
2.5.1.- Tuberías para líquidos:	16
2.5.2.- Tuberías para gases.....	18
2.5.3.- Bombas a utilizar.	18
2.6.- Diseño de tanques del proceso.....	19
2.6.1.- Tanques de almacenamiento:	19
2.6.2.- Tanques de soluciones concentradas de fertilizantes:	20
2.6.3.- Balsa de agua residual:	20
3.- Control e Instrumentación.	20
3.1.- Control del pH.....	20
3.2.- Instrumentación.	24

1.- LOCALIZACIÓN.

La planta de producción microalgas con fines energéticos se va a ubicar en las proximidades de la planta de tratamiento de aguas residuales EDAR El Toyo, próxima al núcleo urbano de Retamar en la provincia de Almería.

Se dispone de un amplio territorio de secano sin explotar, ya que existen dos ramblas a ambos lados de la ubicación. Las coordenadas geográficas son: Latitud: 36° 51' 37.76" N; Longitud: 2° 19' 47.93" O. En el sistema UTM: X: 559727 huso 30; Y: 4079672 hemisferio Norte. La elevación es de 67 m con respecto al nivel del mar.

La EDAR El Toyo ha sido equipada para el tratamiento a nivel secundario de 4200 kg./día de DBO₅ y de 4400 kg./día de materia sólida. Además, la instalación permite el tratamiento a nivel terciario de hasta 13000 m³/día de agua de salida de secundario. La ubicación seleccionada es privilegiada ya que presenta las cuatro vías de transporte y comunicación muy cercanas: por vía aérea, el aeropuerto de Almería está a 7 km con vuelos nacionales con los principales aeropuertos españoles y vuelos internacionales; vía marítima, a través del puerto de Almería que se encuentra a 16 km, que es una gran puerta de salida para comunicar todo el Mediterráneo así como al continente Africano; vía férrea, la estación de tren se encuentra a 15 km, y esta comunicada con las estaciones más importantes del país; y por carretera, por la N-344, que enlaza con la AL-12 que comunica directamente con la ciudad de Almería, o accediendo a la autovía del Mediterráneo A-7, que es la principal vía de comunicación del Levante español.

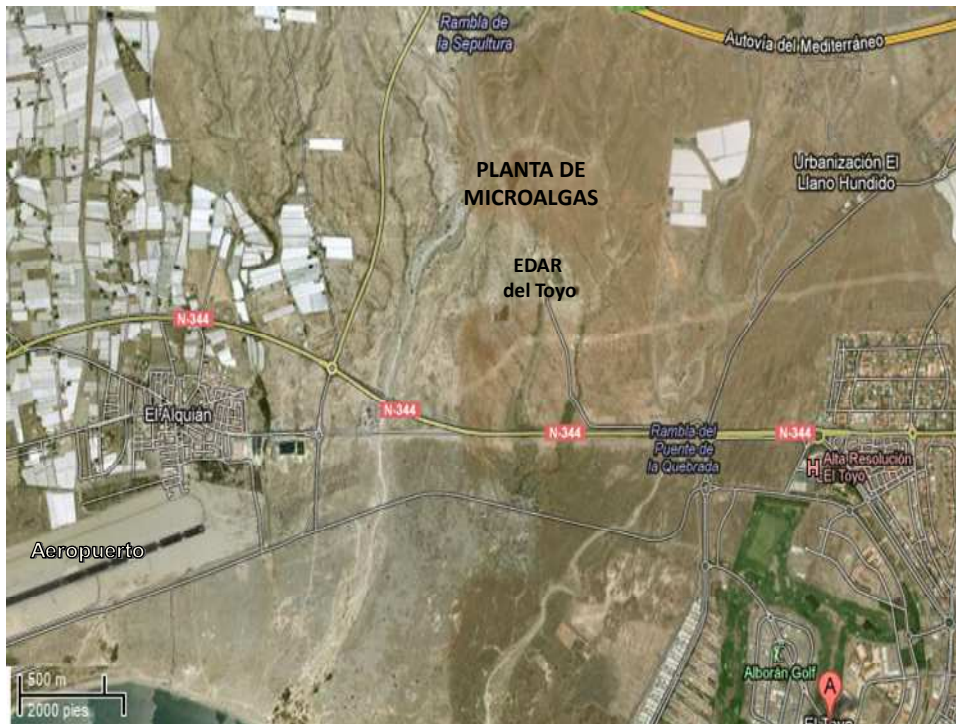


Fig. 1. Mapa de la situación geográfica de la Planta.

La elección de esta ubicación está orientada sobre todo a los recursos de materias primas económicas, como es el agua y el CO₂ proveniente de la combustión de la materia sólida del tratamiento secundario de la EDAR, así como la radiación que hay durante todo el año.

2.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.

2.1.- Diagrama de bloques

A continuación se muestra el diagrama de bloques de la producción de biomasa de microalga para la obtención de energía. En el esquema se distinguen las distintas etapas a llevar a cabo en el proceso: acondicionamiento del agua; reactor biológico; separación de la biomasa, con proceso de floculación-decantación y posterior centrifugación; enfriamiento del centrifugado; y almacenamiento del producto en frío para una mejor conservación.

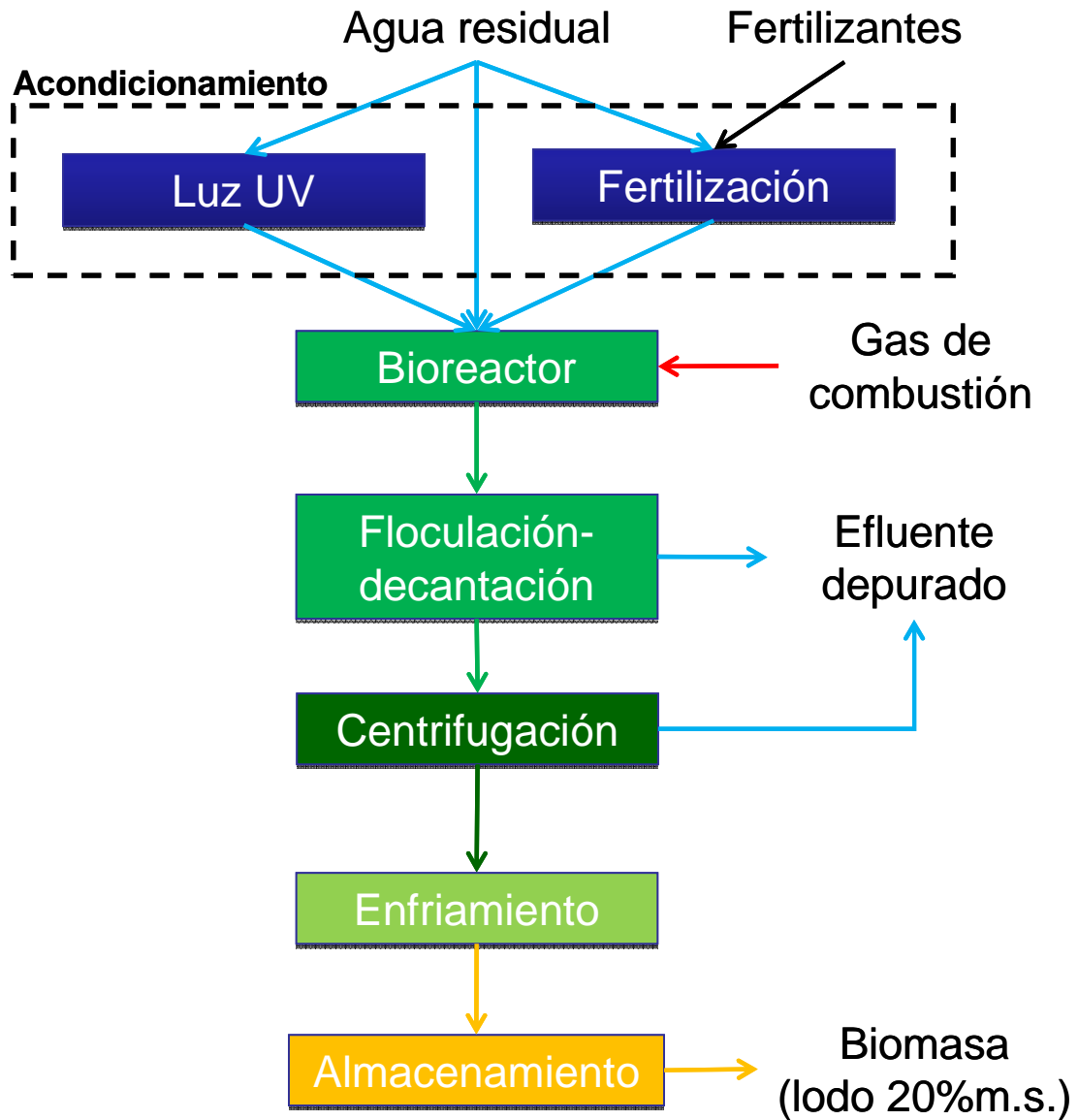


Fig. 2. Diagrama de bloques del proceso.

2.2.- Diagrama de flujo.

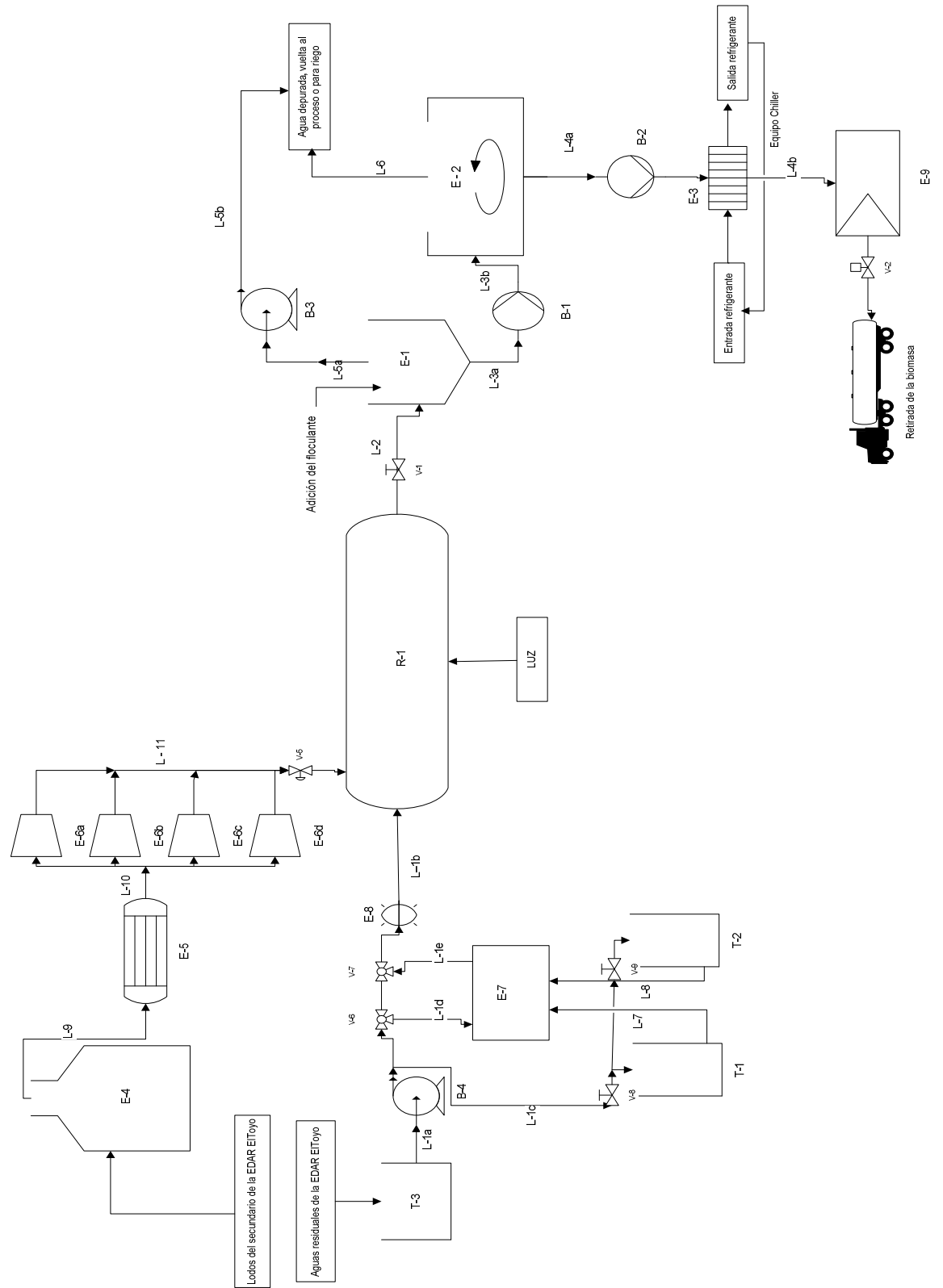


Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso.

2.3.- Etapas del proceso

2.3.1.- Acondicionamiento del agua

Para la preparación del medio se toma en cuenta la relación N:P óptima para el crecimiento de microalgas, que es 16 (7,3 g nitrógeno/1 g fósforo). Hay que tener en cuenta además, el contenido en nitrógeno de la biomasa, que se estima en un 10%, de modo que es posible calcular la cantidad de nitrógeno requerida en función de la productividad de biomasa que se desee alcanzar. Dicha cantidad de nitrógeno debe ser aportada por la entrada de medio.

El medio de cultivo que se va a utilizar es, básicamente, agua residual depurada. Ésta presenta, en baja proporción, los requerimientos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las microalgas. A continuación se expone una tabla resumen:

equivalencia:	1g. biomasa	0,1 g nitrógeno
relación N:P	7,3 g nitrógeno	1 g fósforo
Cálculo de nutrientes para alcanzar la producción:		
requerimiento de N	50,00	mg/L
requerimiento de P	6,85	mg/L
Caudal medio	6.66,67	m ³ /día
Cb	0,50	g/L
Producción biomasa	3333,33	kg/día
nitrógeno requerido	333,33	kg/día
fósforo requerido	45,66	kg/día
Aporta el agua residual		
nitrógeno	336,00	kg/día
fósforo	81,13	kg/día
Sulfatos	760,20	kg/día

Tabla 1. Requerimiento de nutrientes esenciales.

Según la tabla 1 sólo con el aporte de agua residual se dispone de suficientes nutrientes para alcanzar el objetivo marcado de 1000 Tn/año de biomasa. En caso de que el agua residual no contenga nitrógeno ni fósforo, se hará uso de fertilizantes, en este caso nitrato sódico y fosfato monopotásico. Se dispondrá de un cabezal para dosificar la cantidad de nutrientes necesaria.

Nutrientes necesarios si el agua residual no contiene nitrógeno ni fósforo:	
nitrate sódico	2.024 kg/día
nitrate sódico	81 sacos/día
Fosfato monopotásico	200 kg/día
Fosfato monopotásico	9 sacos/día

Tabla 2. Fertilizantes necesarios en caso de no disponer de nutrientes el agua residual.

Por otro lado, el agua residual puede llevar microorganismos patógenos que puedan afectar a los cultivos, o poner en riesgo al personal de la planta, por lo que se lleva a cabo la esterilización del medio cuando sea necesario. Para controlar la carga microbiana del medio se va a instalar un sistema de radiación UV.

Se va a utilizar lámparas de baja presión en canales cerrados y colocadas de forma perpendicular al flujo de agua para mejorar la turbulencia y conseguir una buena desinfección. Se considerarán cámaras con lámparas sumergidas para aprovechar la radiación radial de la lámpara y aumentar el rendimiento del sistema. Los sistemas de luz ultravioleta se colocarán en canales cerrados y acoplados al sistema de tuberías de aguas a la entrada de la planta, para garantizar de que todo el sistema de aguas que entra en la planta está completamente desinfectado y libre de microorganismos patógenos. A continuación se resume las características de la cámara de exposición y de las lámparas de UV.

ESTERILIZACIÓN DEL MEDIO	
Q	6666,67 m ³ /día
t operación	8,00 h
Lámpara UV	
desactivación	99,00 %
Dosis	100,00 mJ/m ²
P	25,00 w
I	13,26 mw/m ²
t	7,53 s
Diámetro	4,00 cm
Longitud	150,00 cm
Área de exposición	0,19 m ²
Cámara de exposición	
Espacio entre lámparas	0,73 m
Volumen cámara	2,33 m ³
Área cámara	337,50 m ²
Longitud cámara	1,50 m
Nº lámparas	2,00

Tabla 3. Resultados de la cámara de exposición y de las lámparas de UV.

2.3.2.- Fotobioreactores.

Se utiliza un conjunto de reactores raceway que trabajan en continuo para obtener la productividad de 1000 Tm/año. El conjunto completo de reactores es de 40, aunque son 37 los que están en producción. El resto se utilizarán como sustitución en labores de limpieza o reparación.

Los reactores están fabricado en polietileno blanco.

Características de la planta de reactores	
Datos experimentales de radiación y de la microalga	
I_0	769,00 $\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$
K_a	0,15 m^2/g
$\mu_{\text{máx}}$	0,90 1/día
n	2,00
I_k	100,00 $\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$
Valores de producción	
C_b	0,50 g/L
μ	0,46 1/día
P_{bv}	0,23 g/L.día
P_{ba}	23,06 $\text{g}/\text{m}^2.\text{día}$
Tiempo de operación	300,00 días/año
Capacidad de producción	1000,00 Tn/año

Tabla 4. Características de la planta de reactores raceway.

Las dimensiones de los reactores son:

Dimensiones del reactor	
Largo canal	200,00 m
Ancho canal	10,00 m
Ancho reactor	20,00 m
Volumen productivo reactor	400,00 m ³
Altura cultivo	0,10 m
Altura reactor	0,30 m

Tabla 5. Dimensiones del reactor.

El aporte de CO₂ al reactor se va a realizar en función de la relación establecida entre kg de CO₂ por cada kg de biomasa producida. Esta relación es de 1,8 en valor estequiométrico pero se ha considerado un valor real de 2,5 para compensar posibles pérdidas.

Se va a considerar la construcción de un foso de forma rectangular que permitirán aumentar la transferencia de materia del gas-líquido, de modo que la inyección de CO₂ al cultivo mejore el control de pH y aumente la eficiencia del reactor. Para el diseño del foso se considera como fenómeno determinante la capacidad de transferencia de materia, de modo que sea lo suficientemente grande y eficaz para desorber oxígeno como para absorber eficientemente CO₂, especialmente en el caso de emplear gases de combustión para los que la fuerza impulsora es menor. Las dimensiones y características del foso son las siguientes:

Corriente de gas de combustión al reactor	
Q _{gas}	61,85 kg/h
Q _{gas}	0,59 mol/s
H _{CO₂} (Cte Henry)	33,80 mol/m ³ .atm
K _{la}	0,01 1/s
P _T	1,00 atm
y _{CO₂}	0,10
Características del foso	
V _{foso}	17,53 m ³
a _f	10,00 m
h _f	1,50 m
b _f	1,17 m
Relación teórica V _{foso} /V _{reactor}	1/20
Dimensiones reales del foso	
V _{foso} real	18,00 m ³
a _f real	10,00 m
h _f real	1,50 m
b _f real	1,20 m

Tabla 6. Características de la corriente de CO₂ y del foso del reactor.

Para la difusión de CO₂ se utiliza membrana de polipropileno de disco. Con esto queda decir que el volumen total del reactor es de 420 m³.

Por otro lado para que el cultivo este perfectamente mezclado y todas las células estén expuestas a la luz, se acopla un agitador de paletas con un motor capaz de mover todo el volumen productivo de cultivo.

Propiedades físicas	
Q	0,30 m ³ /s
ρ cultivo	1000,00 kg/m ³
μ cultivo	0,001 kg/m.s
Circulación por el canal y pérdida de carga	
D	10,00 m
p	0,10 m
v	0,30 m/s
Rh	0,098 m
Reynolds	117647,06
s (Oswald)	0,0002
Δd	0,09 m
Potencia y consumo	
Eficiencia paddle wheel	0,50
n factor manning	0,01 s/m ^{1/3}
Potencia palas (Oswald)	0,54 kW
Potencia	0,74 CV
Consumo energía	1,36 W/m ³

Tabla 7. Parámetros relativos a la circulación del cultivo por el reactor.

2.3.3.- Floculación-decantación.

El cosechado del fotobiorreactor se somete a un proceso de floculación-decantación para separar la biomasa de microalga del medio donde se cultivan y facilitar la etapa de centrifugado posterior. Se va a utilizar un floculante tipo catiónico ya que la suspensión de microalgas tiene carga negativa con lo que favorece la decantación. A continuación se muestra una tabla con los parámetros relativos a la suspensión y al floculante:

Parámetros físicos de la suspensión	
Q suspensión	6.66,67 m ³ /día
Cb	0,50 g/L
Densidad suspensión	1.000,00 kg/m ³
Caudal másico	6.666.666,67 kg/día
Características floculante	
Nombre	ACTIPOL EM1
Tipo	polímero catiónico
Concentración floculante	7,25 mg/L
%Recuperación por floculantes	90,00
Factor de concentración	45,75

Tabla 8. Parámetros de la suspensión y del agente floculante.

La decantación se llevará a cabo mediante un decantador-espesador de sólidos continuo. Los sólidos depositados en el fondo junto con el líquido espesado son continuamente dirigidos hacia la salida mediante un mecanismo de arrastre consistente en dos brazos largos con rastrillos de diseño convencional, que gira a una velocidad periférica de 8m/min. El líquido clarificado se retira continuamente a través de un rebosadero que rodea al borde superior del depósito. El espesador tiene un diámetro de 20 m y una profundidad de 5,65 m. La alimentación se introduce un metro por debajo del líquido clarificado. La concentración inicial de sólidos en la suspensión es de 0,5 g/L y se consigue aumentar hasta una concentración en el lodo de 22,875 g/L. El caudal de lodo obtenido es de 131,15 m³/día.

Características del decantador seleccionado	
velocidad periférica mecanismo arrastre	8,00 m/min
Ángulo fondo	10,00 °
D decantador	20,00 m/unidad
t compresión	1,00 h
Nº decantadores	1,00 m/unidad
Área final	314,15 m/unidad
Altura zona compresión	0,88 m
Altura zona clarificación	3,00 m
ángulo	0,17 rad
hipot	10,15
R	10,00
cos	0,98
sen	0,17
altura fondo	1,76 m
Profundidad del decantador	5,65 m
Volumen decantador	1.774,20 m ³

Tabla 9. Características del decantador seleccionado.**2.3.4.- Centrifugación.**

A continuación se lleva a cabo una centrifugación del lodo obtenido anteriormente en la decantación, para concentrar en mayor medida la biomasa. La centrífuga a utilizar es una centrífuga de cámara y tornillo con un área equivalente de 3,7 m². Está provista de un tambor horizontal con una sección cilíndrica y otra cónica, con una relación de longitud /diámetro entre 1,5 – 3,5. Las velocidades de rotación son de 4000 a 10.000 g. Los parámetros de la centrifugación son los siguientes:

Parámetros de la centrifugación	
Q suspensión	131,15 m ³ /día
ρ suspensión	1010,00 kg/m ³
μ suspensión	0,002 kg/m.s
Q máscico suspensión	132459,44 kg/m ³
Vg	6,92E-04 m/s
Eficiencia separación	0,60
Cb suspensión	22,88 g/L
Factor de concentración	90

Tabla 10. Parámetros de la centrifugación.

El caudal de entrada a la centrífuga es de 131,0 m³/día, cuya concentración es de 22,875 g/L. El caudal de lodo de microalgas es de 14,6 m³/día con una concentración de 205,875 g/L. La corriente de clarificado se lleva de vuelta a la EDAR o para riego. Ésta última tiene un caudal de 116,6 m³/día.

2.3.5.- Enfriamiento del lodo de microalga.

El enfriamiento del lodo de microalgas se lleva a cabo mediante un intercambiador de carcasa y tubos. El lodo de microalgas circula por el interior de los tubos ya que es el efluente más sucio, con una temperatura de entrada de 40°C, y salida a 3 °C. El líquido refrigerante es agua enfriada mediante un equipo de frío tipo Chiller. El agua refrigerante entra a -4°C y sale a 18 °C. Los fluidos circulan en contracorriente.

Intercambiador de calor de carcasa y tubos, E-3	
Material	Acero inox.
nº tubos	59,00
Longitud tubos	3,05 m
Diámetro tubos	0,02 m
Nº pases por los tubos	2,00
Nº pases por la carcasa	1,00
Coefficiente global	929,38 w/m ² .°C
Área de intercambio	11,23 m ²
Caída de presión tubos	13,26 kPa

Tabla 11. Cambiador E-3.

Para enfriar el agua de refrigeración se va a utilizar un equipo Chiller, que enfría el agua de forma rápida y con menor conste de energía que cualquier otro equipo de características similares. Los requerimientos del equipo son:

Equipo de frío Chiller	
Q _{cedido}	75819,67 kcal/h
Trabajo	25.273,22 kcal/h
Potencia	29,35 kw

Tabla 12. Requerimientos del equipo Chiller.

2.3.6.- Almacenamiento.

El almacenamiento de biomasa, sea cual sea el tipo de biomasa, es un problema relevante ya que en condiciones naturales el contenido en humedad de la misma es elevado y ello facilita su rápida descomposición. En este caso la biomasa no ha sido sometida a secado y por tanto se acentúa el problema de descomposición. Se utilizará una cámara de frío para mantener la temperatura del lodo de microalgas a 4°C, de manera que se pueda conservar hasta su retirada. La cámara de refrigeración estará provista de 6 contenedores, y sus características se resumen a continuación:

Características de la cámara de frío	
h	4,00 m
ancho	10,00 m

fondo	13,00 m
P _{motor} necesaria	108,33 Kw
Área total	130,00 m ²

Tabla 13. Características de la cámara de frío.

2.4.- Equipos correspondientes a la línea de gas.

2.4.1.- Caldera de biomasa.

En este caso la utilización de una caldera está motivada por la necesidad de obtener el CO₂ necesario para el objetivo de producción. Por otra parte, se puede utilizar a su vez para calefacción o requerimiento de agua caliente en la planta.

Se utilizará una caldera para la quema de los lodos procedentes del tratamiento secundario de la planta de aguas residuales EDAR El Toyo. La caldera diseñada está basada en la cantidad de gas de combustión necesario para alcanzar la producción marcada. La cantidad de lodos a quemar son 183 kg/h para obtener 2,28 Tm/h de gas de combustión, el cual contiene un 10% de CO₂, que satisface la demanda del conjunto de reactores. Las características de la caldera son:

Requerimientos de la caldera	
Generador	
T _a	35,00 °C
T _{humos}	180,00 °C
K	0,052
η	75,40 %
G	183,33 kg/h
PCI	2.392,34 Kcal/kg
Nu	330.701,75 kcal/h
Potencia	21,98 kw
Caldera	
η	0,83 %
N _r	950.000,00 kcal/h
N _L	3.996,00 kcal/h
a	1,10
Nu	1.049.395,60 kcal/h
Potencia	69,74 kw

Tabla 14. Características de la caldera.

2.4.2.- Intercambiador de calor de tubos E-5.

Para enfriar la corriente gaseosa se utilizará un cambiador de calor tubular. La temperatura de entrada del gas en el cambiador es de 180 °C y se

pretende enfriar hasta 30 °C antes de ser impulsado hasta el sistema de cultivo. Se considera la temperatura ambiente de 18 °C.

Intercambiador de calor de tubos, E-5	
Material	Acero al carbono
Tipo tubo	tubo con 4 aletas
Longitud tubo	20,45 m
Diámetro tubos	0,05 m
Nº pases por los tubos	1,00
Coefficiente global	29,63 w/m ² .K
Área de intercambio	11,39 m ²

Tabla 15. Cambiado de calor E-5.

2.4.3.- Soplante.

Se utilizarán soplantes para impulsar el gas de combustión y poder mandarlo a los reactores. Las soplantes permiten impulsar el gas a una presión de 0,3 bar sobre la de entrada. Las características se detallan a continuación:

Potencia de soplante y numero de soplantes	
Propiedades físicas del gas	
ρ gas	1,30 kg/Nm ³
N	1,30
Pe	101325,00 N/m ²
Ps	131325,00 N/m ²
Caudal másico de gas	2288,51 kg/h
Características de la soplante	
W	20,90 kJ/kg
Potencia	13,29 kW
Nº soplantes	4,00
Potencia/soplante	4,00 kW

Tabla 16. Cálculo de la potencia y número de soplantes.

Con el caudal de CO₂ empleado para todo el sistema y estos resultados se considera adecuado instalar 4 soplantes de 4 kW cada una lo que permite el uso alternativo de las mismas, con periodos de descanso y posibilidad de mantenimiento en cada una de ellas. El arranque de las soplantes será secuencial en función de las demandas de CO₂ en el sistema.

2.5.- Red de tuberías y bombas.

A continuación se describen las tuberías para líquidos y gases necesarias en la instalación. La línea de líquidos incluye el aporte de medio y la recogida

de cosechados así como su concentración, mientras que la línea de gases considera principalmente la impulsión de los gases de combustión hacia el reactor biológico.

2.5.1.- Tuberías para líquidos:

Propiedades físicas		L1a	L1b	L2	L3a	L3b	L4a	L4b	L5a	L5b	L6
Q	m ³ /h	833,33	833,33	833,33	16,39	16,39	1,82	1,82	816,94	816,94	14,57
Q	m ³ /s	0,23	0,23	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,23	0,00
ρ líquido	kg/m ³	1000	1000	1000	1010	1010	1125	1125	1000	1000	1000
μ líquido	kg/m.s	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001
Caudal másico	kg/s	231,48	231,48	231,48	4,60	4,60	0,57	0,57	226,93	226,93	4,05
Selección de tubería											
Velocidad del líquido en la tubería	m/s	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50
Sección de la tubería	m ²	0,23	0,23	0,23	0,01	0,01	0,00	0,00	0,23	0,23	0,01
Diámetro de la tubería	m	0,54	0,54	0,54	0,11	0,11	0,04	0,04	0,54	0,54	0,10
Longitud de la tubería	m	10,00	925,00	925,00	2,50	18,00	2,00	33,00	2,00	100,00	55,00
Diámetro nominal de tubería comercial	m	0,61	0,61	0,61	0,10	0,10	0,04	0,04	0,61	0,51	0,10
velocidad real	m/s	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50
Perdida de carga											
Diferencia de alturas = (Z ₂ - Z ₁)	m	-10,00	0,40	-0,01	5,65	0,50	-0,50	3,50	1,00	0,00	-0,50
Material de la tubería		PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Válvulas de globo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
válvulas de bola		1,00	40,00	1,00	1,00	0,00	1,00	6,00	1,00	0,00	1,00
Codos 90°		0,00	63,00	45,00	2,00	2,00	1,00	8,00	2,00	1,00	1,00
T		3,00	30,00	40,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00
Rugosidad		2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06
Rugosidad relativa, ε/D		3,28E-06	3,28E-06	3,28E-06	1,97E-05	1,97E-05	5,2E-05	5,25E-05	3,3E-06	3,94E-06	2E-05
Leq		120,70	2976,37	2502,71	9,45	7,62	2,11	26,97	56,69	19,05	5,64
Re		609600	609600	609600	25654	25654	7144	7144	609600	508000	50800
f, factor de rozamiento		3,19E-03	3,19E-03	3,19E-03	6,11E-03	6,11E-03	8,46E-03	8,46E-03	3,19E-03	3,30E-03	5,23E-03
Σf		1,37	40,84	35,88	0,36	0,77	0,46	6,66	0,61	1,55	1,56

Tabla 17. Diseño de las tuberías de PVC.

2.5.2.- Tuberías para gases.

Propiedades físicas:		L9	L10	L11
Caudal másico de gas	kg/s	0,64	0,64	0,64
Presión	atm	1,00	1,00	1,30
Temperatura	K	453,00	303,00	303,00
Densidad	kg/m ³	0,78	1,17	1,52
Caudal volumétrico de gas	m ³ /s	0,81	0,54	0,42
Selección de tubería:				
Velocidad del gas en la tubería	m/s	30,00	30,00	30,00
Sección de la tubería	m ²	0,03	0,02	0,01
Diámetro de la tubería	m	0,19	0,15	0,13
Longitud de la tubería	m	3,00	1,00	950,00
Material de la tubería		Acero al carbono	Acero al carbono	PVC
Diámetro nominal de tubería comercial	m	0,20	0,16	0,15
velocidad real del gas	m/s	25,92	27,09	22,97
% CO ₂	10	10,00	10,00	10,00

Tabla 18. Diseño de las tuberías de polipropileno para gases.

2.5.3.- Bombas a utilizar.

Para la impulsión de líquido se utilizan bombas centrífugas, ya que son de gran versatilidad, bajo coste, y fácil diseño, operación y mantenimiento. Las bombas que se utilizan en el traslado del lodo de microalga serán de bombeo de lodos debido a la carga de sólidos. Las características son las siguientes:

BOMBAS:		B-1	B-2	B-3	B-4
Parámetros					
Q	m ³ /h	16,39	1,82	816,94	833,33
Q	m ³ /s	4,60E-03	5,10E-04	0,23	0,23
Caudal másico	kg/s	4,60	0,57	226,93	231,41
Longitud tubería de aspiración	m	2,50	2,00	2,00	10,00
Longitud tubería de impulsión	m	18,00	33,00	100,00	925,00
Diámetro de tubería	m	0,10	0,038	0,61	0,61
Σf aspiración	J/kg	0,36	0,46	0,61	1,37
Σf impulsión	J/kg	0,77	6,66	1,55	40,84
altura tramo de aspiración	m	-5,65	-0,50	1,00	-10,00
altura tramo de impulsión	m	0,50	3,50	0,00	0,40
Energía potencial	J/kg	60,31	39,19	9,81	102,02
Energía cinética	J/kg	0,13	0,13	0,50	0,50
Energía por fricción	J/kg	1,13	7,12	2,16	42,21
W trabajo a realizar	J/kg	61,56	46,43	12,47	144,73
Rendimiento de la bomba		0,80	0,80	0,80	0,80
Potencia necesaria de la bomba	w	353,92	33,04	3537,22	41878,44

Tabla 19. Diseño de las bombas de la instalación.

2.6.- Diseño de tanques del proceso.

Los tanques cerrados que se disponen en el proceso son los correspondientes al almacenamiento de la biomasa, además de los tanques correspondientes a las soluciones concentradas de nutrientes, que satisfacen las demandas de nutrientes del cabezal. Por último se va a utilizar una balsa para la recogida del agua residual proveniente de la planta depuradora. Ésta albergará por lo menos el volumen correspondiente a una hora de dilución. El agua entrará progresivamente a la balsa, renovándose continuamente. La construcción de ésta consistirá en la realización de una excavación, impermeabilización y una cubierta de plástico para albergar el agua. A continuación se muestran las características de cada uno de los tanques:

2.6.1.- Tanques de almacenamiento:

Características de líquido	
volumen	14,57 m ³
μ	0,003 Kg/m.s
ρ	1025,00 Kg/m ³
Patm	101325,00 Kg/m.s ²
Especificaciones del diseño	
Vacio de seguridad	20,00 %
h/D	1,50
Pd/Pmáx	1,10
Propiedades del material seleccionado	
Material	Polipropileno
σ	15200000,00 Kg/m ²
ES	0,95
CARACTERÍSTICAS DEL RECIPIENTE	
D	2,33 m
h	3,50 m
Volumen real	18,21 m ³
Espesor del cilindro	
Pmáx	136468,87 kg/m.s ²
Pd	150115,76 kg/m.s ²
t cilindro	0,01 m
t corrosión	4,00 mm
t cilindro	16,19 mm
Espesor fondo	
t fondo	0,01 m
t corrosión	4,00 mm
t fondo	16,12 mm

Tabla 20. Dimensiones y espesor de los tanques de almacenamiento del lodo de microalgas.

2.6.2.- Tanques de soluciones concentradas de fertilizantes:

Cabezal de riego	
Q fotobioreactor	6666,67 m ³ /día
t operación	8,00 h
Q fotobioreactor	833,33 m ³ /h
Concentración de nutrientes en tanque	100,00 g/L
Concentración N tanque	1,18 mol/L
Concentración N medio	3,57 mmol/L
Q nutrientes necesario	2,53 m ³ /h
Volumen necesario renovación cada 5 días, m ³	101,19 m ³
Características del recipiente	
Vacío seguridad	20%
Volumen	120,00 m ³
Altura	4,00 m
S	30,00 m ²
D	6,18 m
D real	6,5 m

Tabla 21. Dimensiones y espesor de los tanques de fertilizantes concentrados.

2.6.3.- Balsa de agua residual:

Balsa de agua residual	
Q fotobioreactor	6666,67 m ³ /día
t operación	8,00 h
Q fotobioreactor	833,33 m ³ /h
Profundidad	5,00 m
ancho	10,00 m
Largo	16,67 m

Tabla 22. Dimensiones de la balsa de agua residual.

3.- Control e Instrumentación.**3.1.- Control del pH.**

El control en la planta es un punto destacado ya que es necesario para la correcta operación de la misma así como para alcanzar el objetivo de producción. Se realizará el control del pH de los fotobioreactores, que es uno de los factores más determinantes en la producción de microalgas. El sistema a emplear se ha puesto a punto en La Estación Experimental de La Fundación Cajamar, en donde se utiliza un control PI y modo Feed Forward (control anticipativo).

El control anticipativo o Feed Forward, es una herramienta de control que se utiliza para tener en cuenta las perturbaciones de un sistema anticipadamente y mejorar el control, siempre y cuando estas perturbaciones sean conocidas y medibles. En este caso la bondad del controlador es función directa de la adecuación del modelo del sistema. En el caso de los cultivos de microalgas, el comportamiento del pH viene determinado principalmente por las inyecciones de CO₂, pero los niveles de radiación también influyen en el comportamiento del pH, por lo que es necesario considerar esta última variable como una perturbación del sistema. De esta forma, conociendo el efecto que tendrá la radiación sobre el sistema es posible alimentarla al sistema de control PI anticipadamente y de ese modo el controlador corregirá los efectos producidos por la perturbación antes de que alteren al sistema.

El pH de un cultivo de microalgas se ve influenciado principalmente por dos fenómenos. Por un lado el aporte del CO₂ como nutriente provoca la formación de ácido carbónico y éste un descenso del pH en el cultivo. Por otro lado, las microalgas realizan la fotosíntesis en presencia de radiación solar consumiendo el CO₂ y generando O₂, lo que provoca una subida paulatina del pH. El consumo de nitratos también supone una alcalinización del pH del medio.

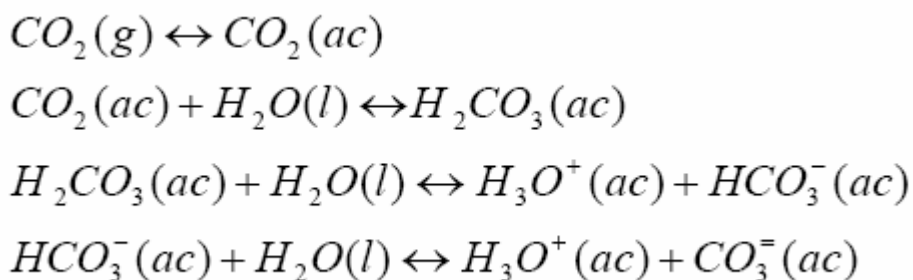


Fig. 4. Disolución de CO₂ en agua (Tampón Carbonato-Bicarbonato).

Para mantener el crecimiento máximo y por lo tanto maximizar el rendimiento de los cultivos se requiere que ciertas variables del entorno sean mantenidas en los valores óptimos. El modelo que se va a utilizar relaciona el pH con la inyección de CO₂ y la radiación solar a través de dos funciones de transferencia de primer orden en la variable *s* de Laplace:

$$V_{pH} = \underbrace{\frac{K_1}{(1 + \tau_1 \cdot s)}}_{FT1_1} \cdot \underbrace{\frac{K_{1_2} \cdot \omega_n^2}{(s^2 + 2 \cdot \delta \omega_n \cdot s + \omega_n^2)}}_{FT1} \cdot e^{-\tau_1 \cdot s} \cdot VCO_2 + \underbrace{\frac{K_2}{(1 + \tau_2 \cdot s)}}_{FT2} \cdot VI$$

donde

V_{pH} : pH del cultivo.

VCO_2 : porcentaje de apertura de la válvula de CO_2 .

VI : valor de la radiación global.

Mediante ensayos, se han calculado los valores de los parámetros de las funciones de transferencia del modelo. Finalmente, se han realizando ajustes quedado el modelo de la siguiente forma:

$$pH = \frac{-2}{(1 + 3200 \cdot s)} \cdot \frac{0.0002}{(s^2 + 0.0005 \cdot s + 0.0002)} \cdot e^{-220 \cdot s} \cdot CO_2 + \frac{0.0018}{(1 + 9260 \cdot s)} \cdot I$$

Conocidos los efectos de la inyección de CO_2 y de la radiación solar, así como las funciones de transferencia que lo representan, se considera que la dinámica principal del sistema viene determinada por la inyección de CO_2 , mientras que la radiación solar será considerada como una perturbación del sistema. De esta forma el esquema general de control para un controlador PI será el siguiente:

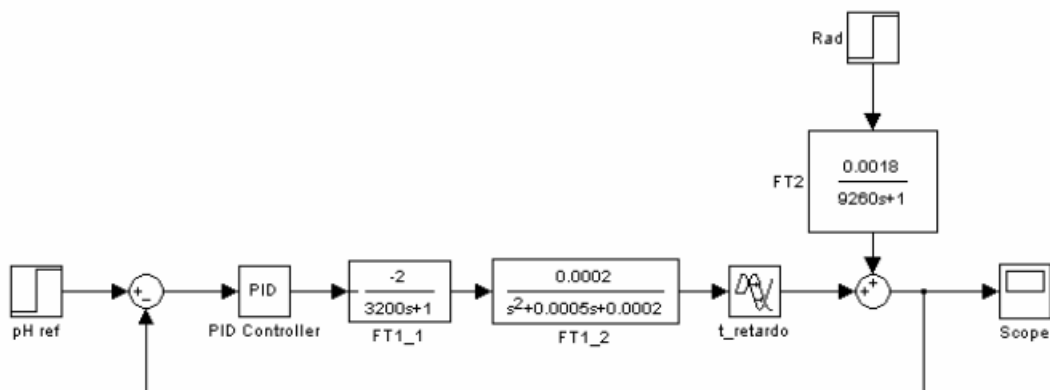


Fig. 5. Esquema general del control PI.

Para el diseño del controlador PI se ha utilizado el método de Ziegler-Nichols en bucle abierto, debido a que el sistema posee retardo. Una posterior simulación y la realización de ensayos prueba-error, conduce a que los parámetros óptimos del controlador PI son: $K_c = 2$ y $T_i = 1800$ segundos.

El control anticipativo o Feed Forward consiste básicamente en realimentar el efecto de la perturbación (la radiación solar) al lazo de control para que posteriormente se corrijan los efectos de ésta. El esquema de control es el mismo que el del controlador PI anterior, solo que se añade la función de transferencia GFF (Feed Forward) que es la que introduce el efecto de la radiación en el lazo de control. El cálculo de GFF se realiza del siguiente modo:

$$G_{FF} = -\frac{TF2(s)}{TF1_1(s)} = -\frac{\frac{0.0018}{(9260 \cdot s + 1)}}{\frac{-2}{(3200 \cdot s + 1)}} = \frac{2.88 \cdot s + 0.0009}{(9260 \cdot s + 1)}$$

Por lo que el esquema general de control para el Feed Forward es el siguiente:

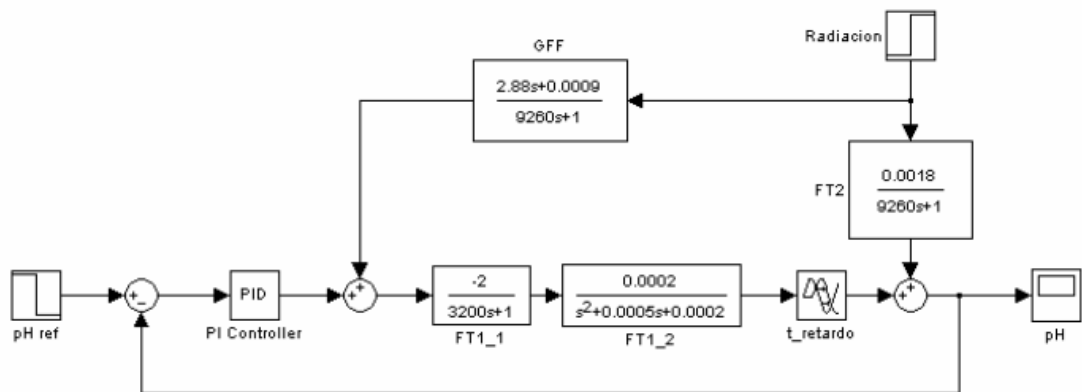


Fig. 6. Esquema general de un control anticipativo.

El control anticipativo Feed Forward reduce las pérdidas de CO_2 con respecto al Todo-Nada y al PI, consiguiendo mantener el pH entorno al valor óptimo inyectando la menor cantidad de CO_2 , y por consiguiente perdiendo menos cantidad de CO_2 . Por otro lado, reduce el número de actuaciones de la válvula de CO_2 , ya que el control del pH está mejor regulado, evitando un desgaste excesivo de la válvula, alargando la vida útil de ésta.

3.2.- Instrumentación.

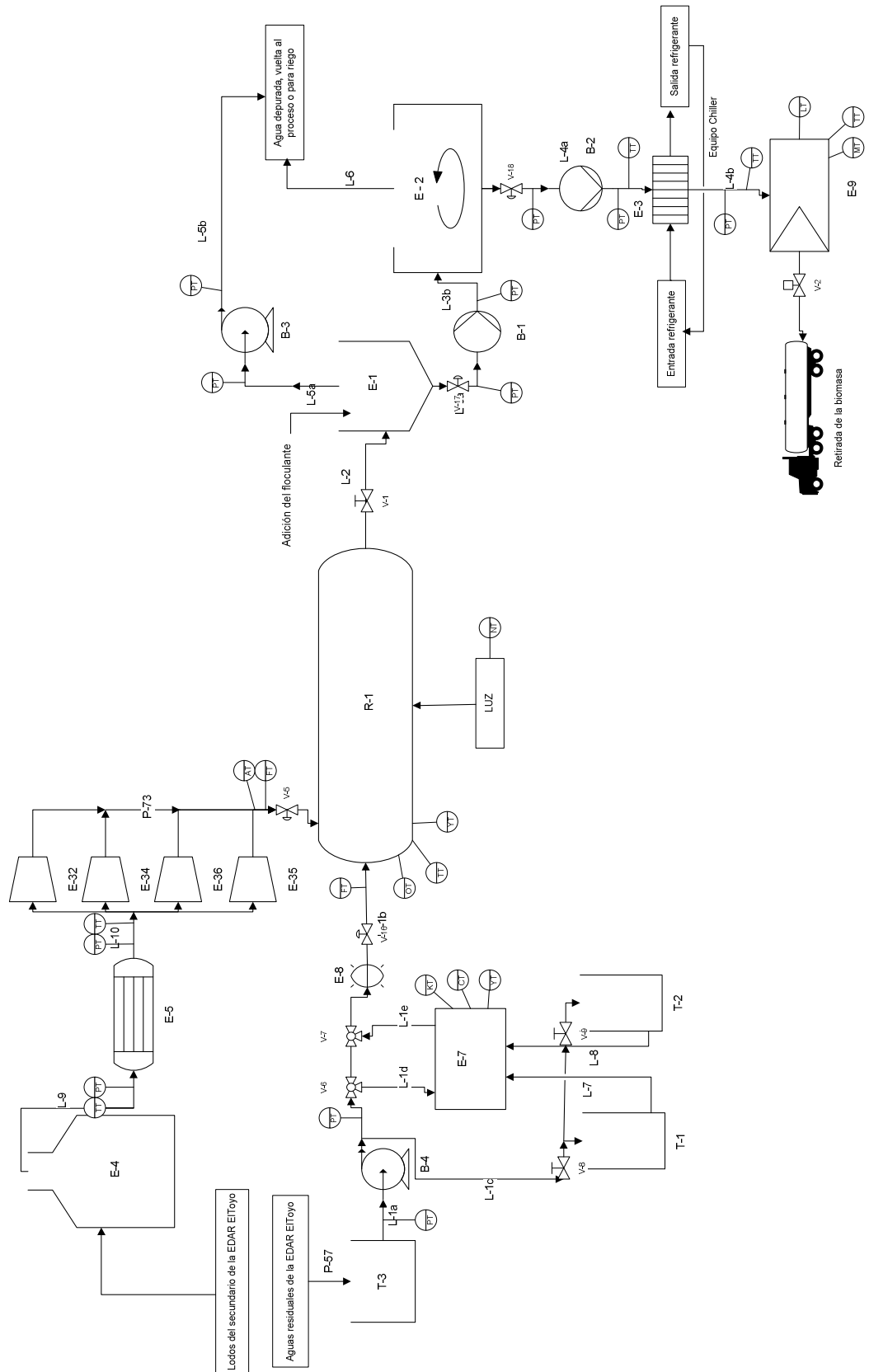


Fig. 7. Diagrama de instrumentación.

Nomenclatura de sensores	
KT	sensor/transmisor de tiempo
CT	sensor/transmisor de conductividad
LT	sensor de nivel
PT	sensor/transmisor de presión
TT	sensor/transmisor de temperatura
FT	sensor/transmisor de flujo o caudal
AT	sensor/transmisor analizador de CO ₂
YT	sensor/transmisor de pH
OT	sensor/transmisor analizador de O ₂
NT	sensor/transmisor de radiación solar
MT	sensor/transmisor de humedad

Tabla 23. Nomenclatura de sensores.



Nomenclatura de válvulas	
	Válvula de control
	Válvula manual

Tabla 24. Nomenclatura de válvulas.

DOCUMENTO 3:

ANEJOS

A LA MEMORIA

ANEJO 1:

LOCALIZACIÓN Y PRODUCCIÓN

ÍNDICE

1.- LOCALIZACIÓN.....	2
2.- PRODUCCIÓN.....	6

1.- LOCALIZACIÓN

La planta de producción microalgas con fines energéticos se va a ubicar en las proximidades de la planta de tratamiento de aguas residuales EDAR El Toyo, próximas al núcleo urbano de Retamar en la provincia de Almería.

Esta parte del término municipal de Almería está ubicado entre el río Andarax y la Rambla del Agua que da paso al siguiente término municipal de Nijar. Se dispone de un amplio territorio de secano sin explotar, ya que existen dos ramblas a ambos lados de la ubicación. Las coordenadas geográficas son: Latitud: 36° 51' 37.76'' N; Longitud: 2° 19' 47.93'' O. En el sistema UTM: X: 559727 huso 30; Y: 4079672 hemisferio Norte. La elevación es de 67 m con respecto al nivel del mar.

En 2003 entro en funcionamiento la EDAR de El Toyo, que fue construida para sustituir a las existentes lagunas de oxidación de Retamar, al objeto de dotar a esta zona del término municipal de una instalación capaz de depurar las aguas residuales de los núcleos de Urbanización de Retamar, Centro Penitenciario El Acebuche, Urbanizaciones Toyo I y Toyo II y de todos los núcleos del término municipal comprendidos entre el margen izquierdo del río Andarax y las urbanizaciones Toyo I y Toyo II, descargando de este modo de cargas contaminantes a la EDAR El Bobar .

La EDAR El Toyo ha sido equipada para el tratamiento a nivel secundario de unos 4.200 kg./día de DBO₅ y de unos 4.400 kg./día de materia sólida. Además, la instalación permite el tratamiento a nivel terciario de hasta 13.000 m³/día de agua de salida de secundario. Se trata de una instalación de tratamiento por oxidación prolongada en reactores tipo carrusel, que en su fase final dispone de un tratamiento terciario con filtración en lecho de arena. El agua así depurada es empleada para riego, en el campo de golf de El Toyo, parques y fuentes públicas.

La ubicación seleccionada es privilegiada ya que presenta las cuatro vías de transporte y comunicación muy cercanas: por vía aérea, el aeropuerto de Almería está a escasamente 7 km con vuelos nacionales con los principales aeropuertos españoles y vuelos internacionales; vía marítima, a través del puerto de Almería que se encuentra aproximadamente a 16 km, que es una gran puerta de salida para comunicar todo el Mediterráneo así como al

continente Africano; vía férrea, la estación de tren se encuentra a 15 km, y esta comunicada con las estaciones más importantes del país; y por carretera, por la N-344, que enlaza con la AL-12 que nos comunica directamente con la ciudad de Almería, o accediendo a la autovía del Mediterráneo A-7, que es la principal vía de comunicación del Levante español.



Fig. 1. Mapa de la situación geográfica de la Planta.

Los motivos por los que se ha elegido este lugar para la ubicación de la Planta de microalgas son los siguientes:

- **TASAS DE IRRADIACIÓN Y TEMPERATURA:** Las temperaturas suelen ser moderadas a lo largo de todo el año, considerando máximas de 28°C y mínimas de 13°C. Esto nos permite trabajar durante todo el año y no tener la necesidad de parar la planta en una determinada época, con el consiguiente gasto energético y económico que ello conlleva.

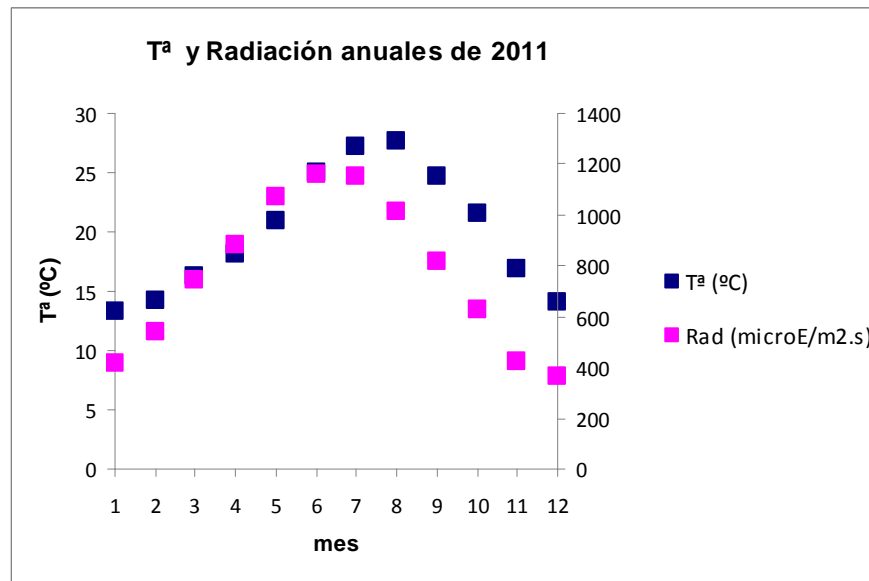


Fig. 2. Gráfico de la radiación ($\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$) y Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) anuales en la ubicación seleccionada.

- TIPOS DE TERRENO: el terreno no está destinado a uso agrícola, por lo que no se compite por el uso del suelo. Los desniveles que presenta el suelo son despreciables y en el caso que no lo sea se hará uso de maquinaria especializada para allanar el terreno. La altitud que presenta no es relevante para el cultivo de microalgas.
- CONTAMINACIÓN DEL TERRENO: No hay ningún indicio ni antecedente para suponer que el terreno pudiera estar contaminado por metales pesados u otros contaminantes que interfieran en el crecimiento de las microalgas.
- ALTITUD DEL TERRENO: la altitud es de 67 m, respecto del nivel del mar. No tenemos una altitud importante que nos pueda suponer algún problema.
- FERTILIZANTES: El uso de fertilizantes encarece el proceso de forma considerable, por lo el principal motivo de la elección del emplazamiento viene determinado por la utilización de aguas residuales como principal fuente nutricional para las microalgas. Los volúmenes a tratar son considerables, por lo que se establece que la mejor estrategia de abaratar costes y mejor aprovechamiento de este recurso es instalar la planta de producción de microalgas acoplada a la depuración de las aguas residuales. El acoplamiento del sistema con la planta de aguas residuales permite aprovechar una mayor parte

de los recursos generados por ambos procesos y reducir los costos de operación de la producción de microalgas.

- **APORTE DE CO₂:** Es uno de los requisitos también determinantes para la ubicación de la planta. En este caso se puede obtener de los gases de digestión generados en la misma planta de tratamiento de aguas residuales, que serán combustionados como fuente de electricidad y CO₂. En este caso, ya que la planta no dispone de turbinas de combustión de biogás, se aprovecharán los lodos retirados en el proceso de depuración de las aguas para producir el CO₂ necesario.
- **OTROS ASPECTOS:** La Universidad de Almería está a escasos 10 km, lo que supone contar con los recursos tecnológicos, humanos e instalaciones con los que dispone una de las Universidades pioneras en investigación de microalgas. Además, facilitaría el estudio y caracterización de las cepas de la zona; la disponibilidad de éstas y los técnicos especializados que se requieran.

2.- PRODUCCIÓN.

La producción fijada es 1.000 toneladas/año de biomasa de microalga, producción fijada para trabajar durante 300 días al año, con disponibilidad semanal de una producción de microalga fresca del 20% en peso de 15.000 kg/semanales.

El área productiva de la planta es de 14,5 Ha, llegando a productividades de 6,9 kg/m².año.

La producción de la biomasa de microalga estará destinada a la industria energética.

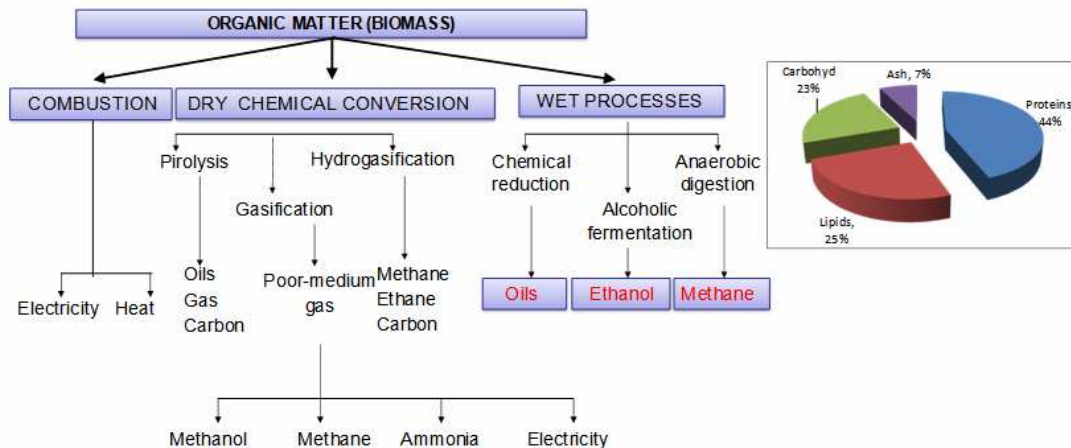


Fig. 3. Estrategias de utilización de la biomasa microalgal como fuente energética.

La planta de microalgas es una planta semiindustrial, con carácter experimental, de modo que los gastos energéticos ocasionados en la producción así como la mano de obra depositada en ella son cubiertos totalmente, originando además un beneficio añadido. Los efluentes líquidos clarificados depurados que se obtienen en el proceso, son revertidos a la planta de depuración para su posterior utilización para riego, por lo que se obtiene un valor añadido.

ANEJO 2:

BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- BALANCES DE MATERIA.	3
2.1.- Balance de materia global.	5
2.2.- Balance de materia al conjunto de reactores.....	6
2.3.- Balance al decantador.	6
2.4.- Balance a la centrífuga.	6
2.5.- Balance a la caldera.	7
3.- BALANCES DE ENERGÍA.	8
3.1.- Balance de energía al cambiador E-3.....	8
3.2.- Balance de energía al cambiador E-5.....	9

1.- INTRODUCCIÓN.

Como se ha mencionado en la memoria justificativa, se trata de un proceso de producción de microalgas para la obtención de energía. Se deben de llevar a cabo una serie de etapas en el proceso que satisfaga las necesidades de producción y se cumplan los requisitos energéticos establecidos.

La producción se lleva a cabo en un fotobioreactor donde se lleva a cabo la reacción de fotosíntesis y el crecimiento de la microalga. Se introducirá el medio de cultivo con nutrientes, una fuente de carbono y mediante la luz solar se llevará a cabo la reacción. Posteriormente se cosechará a una determinada velocidad de dilución y se llevará a un decantador donde se adiciona el floculante para provocar la sedimentación de la biomasa de modo más rápido y eficaz. Una vez recuperada la biomasa con un determinado factor de concentración, se somete a centrifugación obteniendo un lodo de microalga mucho más concentrado. Una vez realizado el proceso de centrifugación se realiza un enfriamiento del lodo de microalga para llevarlo a una cámara de frío para su almacenamiento.

Los efluentes limpios de la etapa de decantación y centrifugación se recogen y se pasan por filtros para eliminar los posibles restos de microalgas y poder devolver el agua al proceso de depuración de aguas residuales para su posterior reutilización en riego.

2.- BALANCES DE MATERIA.

Para llevar a cabo la resolución de las distintas etapas del proceso se han determinado los balances de materia correspondientes a cada una de estas etapas. A continuación se muestra el diagrama de bloques del proceso:

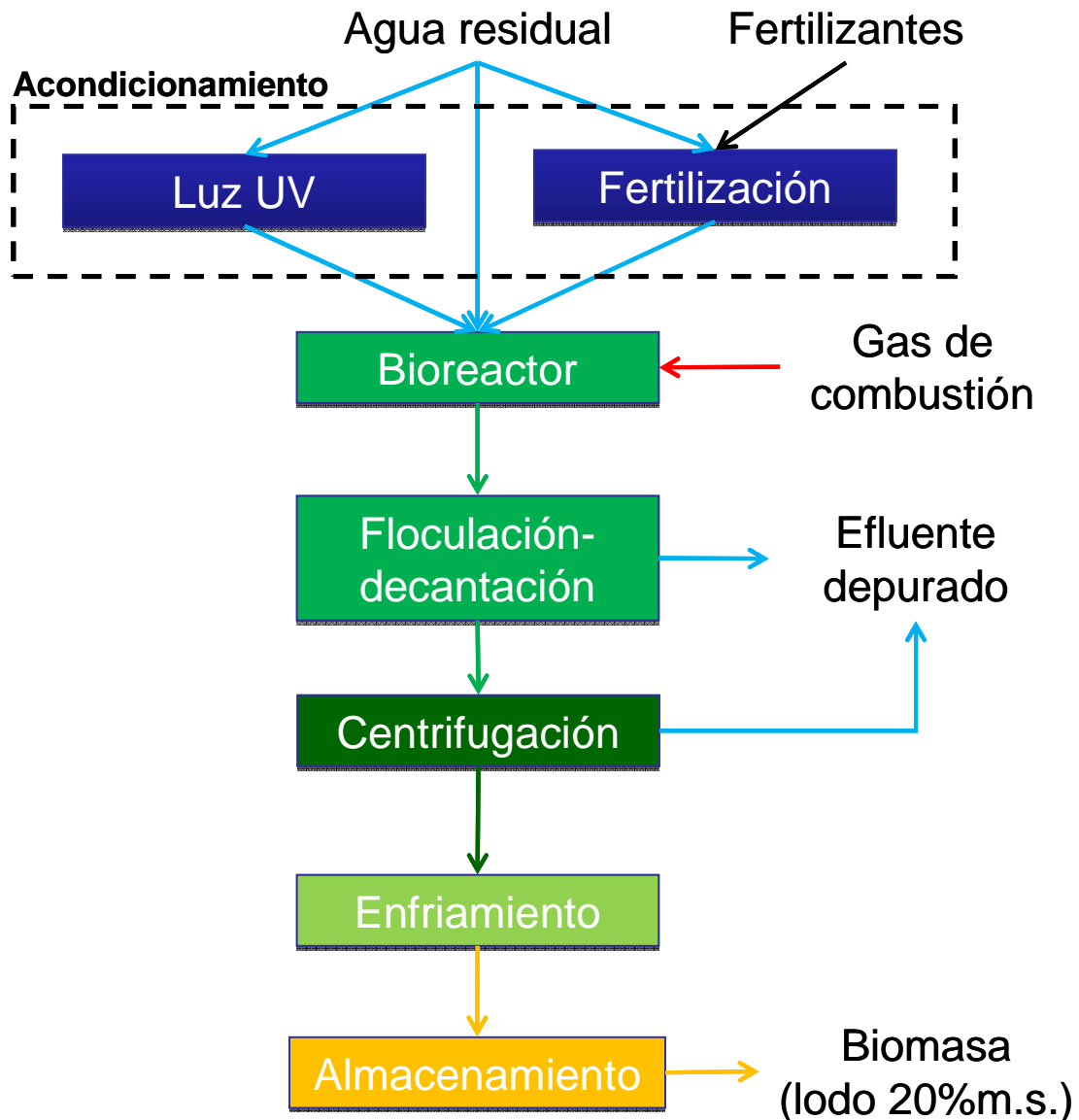


Fig. 1. Diagrama de bloques detallado del proceso propuesto.

Para tener presente cada una de las corrientes de entrada y salida del sistema, así como el recorrido de cada uno de los efluentes que entran y abandonan cada equipo del proceso, se muestra el diagrama de flujo con la notación correspondiente.

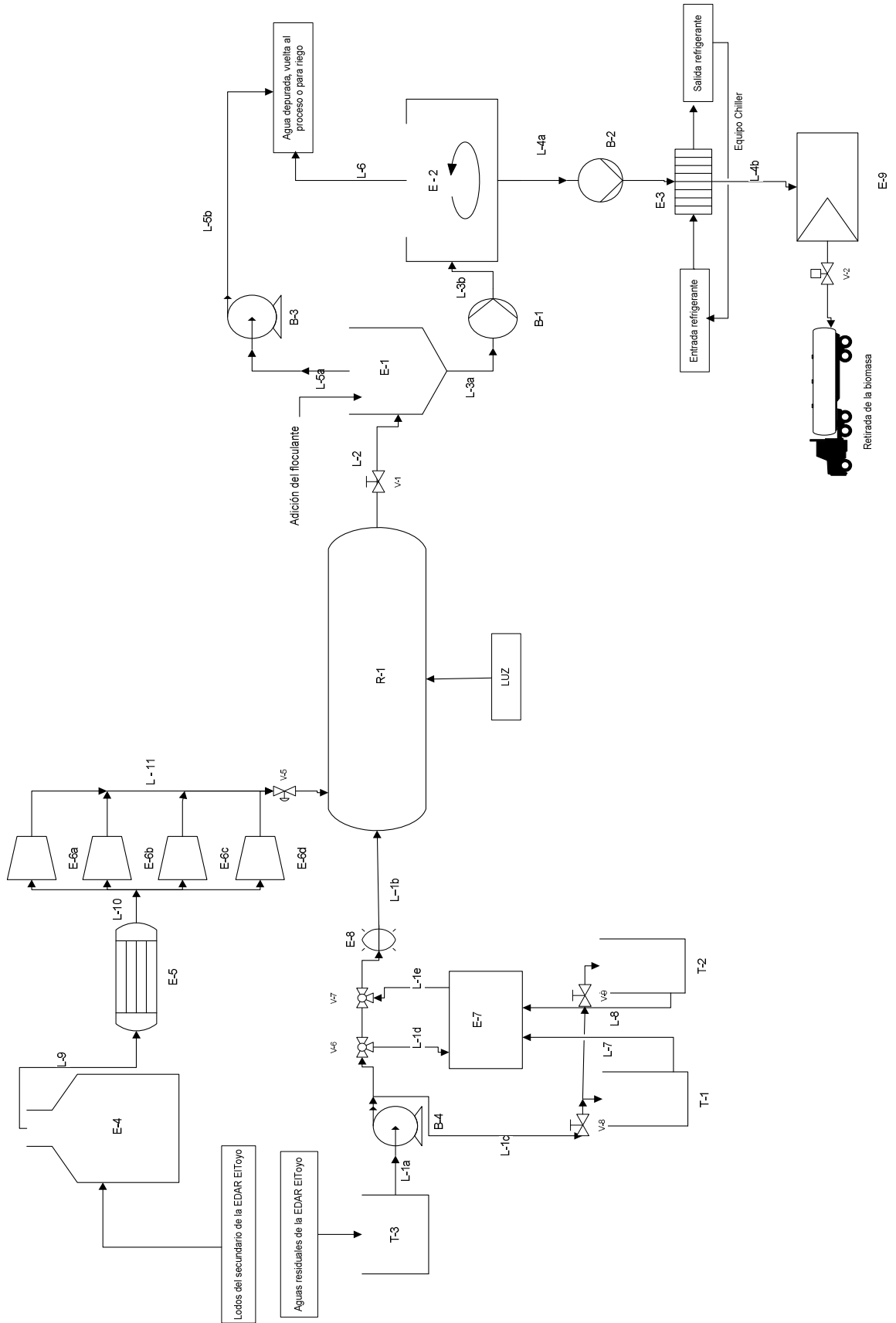


Fig. 2. Diagrama de flujo del proceso.

Equipos empleados			
R-1	Fotobioreactores	E-9	Cámara de frío
E-1	Decantador	T-1	Tanque de solución de NaNO ₃
E-2	Centrifuga	T-2	Tanque de solución de KH ₂ PO ₄
E-3	Intercambiador de carcasa y tubos	T-3	Balsa de recogida agua
E-4	Caldera	B-1	Bomba de lodos al decantador
E-5	Intercambiador de tubos	B-2	Bomba de lodos a la centrifuga
E-6	Soplantes	B-3	Bomba centrifuga clarificado decantador
E-7	Cabezal de riego	B-4	Bomba de medio
E-8	Sistema UV		

Tabla 1. Notación de equipos empleados.

Líneas del proceso			
L-1a	Entrada de agua residual, aspiración B-4	L-4b	Clarificado decantador, aspiración B-3
L-1b	Entrada medio a los reactores, impulsión B-4	L-5a	Clarificado decantador, impulsión B-3
L-1c	Entrada agua a los tanques	L-5b	Clarificado centrifuga
L-1d	Entrada de agua al cabezal	L-6	Solución de NaNO ₃
L-1e	Salida de nutrientes del cabezal	L-7	Solución de NaNO ₄
L-2	Cosechado reactores	L-8	Solución de NaNO ₃
L-3a	Lodo decantador, aspiración B-1	L-9	Gases de combustión caldera
L-3b	Lodo decantador, impulsión B-1	L-10	Gases de combustión fríos
L-4a	Lodo centrifugado, aspiración B-2	L-11	Gases combustión al reactor
L-4b	Lodo centrifugado, impulsión B-2		

Tabla 2. Notación de las líneas del proceso

2.1.- Balance de materia global.

Para los balances de materia global a la planta de producción de microalgas hay que tener en cuenta que se trabaja 300 días al año, con una jornada de 8 horas al día. Esto hace que el número de horas de trabajo anuales o factor de operación sea de 2.400 horas. Las corrientes de entrada y salida del sistema son:

Balance de materia global			
Entrada		Salida	
Caudal de agua EDAR	6.667 m ³ /día	Caudal de lodo microalga	15 m ³ /día
Caudal de agua EDAR	6.666.667 kg/día	Caudal de lodo microalga	3.000 kg/día
Caudal de lodo EDAR	4.400 kg/día	Cb	206 g/L
		Caudal clarificado	6.652 m ³ /día
		Caudal clarificado	6.652.095 kg/día
Producción			
Productividad de biomasa	69,16 Tm/Ha.año		

Tabla 3. Balance global de la planta.

2.2.- Balance de materia al conjunto de reactores.

La velocidad de dilución es de $0,46 \text{ día}^{-1}$, y el tiempo de residencia es de 2,17 días, es decir, que se tarda 2,17 días en renovar todo el medio de un reactor. El conjunto de la planta lo forman 40 reactores, de los cuales 37 están en producción.

Balance al conjunto de reactores			
Entrada		Salida	
Caudal medio	277,78 m ³ /h	Caudal cosechado	277,78 m ³ /h
Caudal gas	2.288,51 kg/h	Caudal cosechado	277.777,78 kg/h
Composición CO ₂	10 %	Cb	0,50 g/L
Caudal CO ₂	347,22 kg/h		

Tabla 4. Balance al conjunto de los fotobioreactores.

2.3.- Balance al decantador.

El cosechado de todos los reactores llega al decantador, donde se le adiciona el floculante. El tiempo estimado para la decantación es de 1 hora.

Balance al decantador			
Entrada		Salida	
Caudal cosechado	6.666,67 m ³ /día	Caudal de lodo	131,15 m ³ /día
Caudal másico	6.666.666,67 kg/día	Cb lodo	22,88 g/L
Cb	0,50 g/L	Caudal de clarificado	6.535,56 m ³ /día
Cf	7,25 mg/L	Cb clarificado	0,05 g/L

Tabla 5. Balance al decantador.

2.4.- Balance a la centrífuga.

Después de concentrarse la biomasa en el decantador, se hace pasar por una centrífuga para retirar la mayor parte del agua, llegando a concentraciones del 20% en peso. La centrifugación se realiza con una centrífuga decantadora de cámara y tornillo, y se obtiene un lodo de microalga a una temperatura de 40° C.

Balance a la centrífuga			
Entrada		Salida	
Caudal de lodo	131,15 m ³ /día	Caudal lodo	14,57 m ³ /día
Cb	22,88 g/L	Cb lodo	205,88 g/L
		Caudal clarificado	116,58 m ³ /día

Tabla 6. Balance a la centrífuga.

2.5.- Balance a la caldera.

La caldera se utiliza para proporcionar el CO₂ necesario para el cultivo de microalgas. De los gases de combustión generados, estos se enfrían y se comprimen, almacenándolos en un tanque que posteriormente, en caso preciso, se lleva al reactor bajo demanda. La caldera tiene la posibilidad de calentar agua para calefacción.

Balance a la caldera			
Entrada		Salida	
Cantidad de lodo EDAR	183,33 kg/h	Cantidad gas a los reactores	2.288,51 kg/h
		Cantidad de CO ₂ a los reactores	347,22 kg/h
		Cantidad gas por chimenea	732,32 kg/h

Tabla 7. Balance a la caldera.

3.- BALANCES DE ENERGÍA.

Se van a considerar las etapas o equipos que ceden o quitan calor a las corrientes del proceso, en este caso, los dos intercambiadores de calor, E-3 (Cambiador de carcasa y tubos) y E-5 (cambiador de tubos).

3.1.- Balance de energía al cambiador E-3.

El cambiador E-3, es un intercambiador de carcasa y tubos. El fluido caliente es el centrifugado de lodo de microalga, que sale de la centrífuga a 40°C, y se pretende enfriar hasta 3°C, para almacenar en la cámara de frío a 4°C. El fluido caliente, en este caso, irá por el interior de los tubos, ya que se trata de un fluido sucio y puede ocasionar problemas de ensuciamiento y deterioro en la carcasa.

Se contará con un equipo de refrigeración, se trata de un equipo generador de frío tipo Chiller, que enfriará el agua para el cambiador. Los balances y requerimientos se exponen en la siguiente tabla:

Balance al cambiador E-3	
Propiedades físicas del fluido caliente	
T1	40,00 °C
T2	3,00 °C
ρ promedio	1125,00 kg/m ³
μ	3,00E-03 kg/m.s
Cp	1,00 kcal/kg°C
m	16393,44 kg/día
m	2049,18 kg/h
Kf	0,60 w/m°C
Propiedades físicas del fluido frío	
t2	18,00 °C
t1	-4,00 °C
ρ promedio	1000,00 kg/m ³
μ	1,00E-03 kg/m.s
Cp	,001 kcal/kg°C
m	10000,00 kg/h
kf	0,58 w/m.°C
Calor intercambiado	
Q _{cedido}	75819,67 kcal/h
Q _{cedido}	88,03 kw

Tabla 8. Balance al cambiador de carcasa y tubos.

3.2.- Balance de energía al cambiador E-5.

Los gases de combustión generados en la caldera se deben de enfriar antes de pasar por el compresor, de manera que se utiliza un cambiador de tubos con aletas para disipar el calor al aire.

Balance al cambiador E-5	
Propiedades físicas del gas	
Te	180,00 °C
T s	30,00 °C
ρ promedio	0,98 kg/m ³
μ	2,18E-5 kg/m.s
Cp	0,28 kcal/kg.K
m	2.288,51 kg/h
m	0,64 kg/s
Kf gas	0,03 W/m.K
Propiedades físicas del aire	
Tamb	18,00 °C
Tm pared	61,50 °C
Tf	39,75 °C
ρ promedio	0,98 kg/m ³
μ	0,22E-4 kg/m.s
Cp	1,00 kcal/kg.K
Kf aire	0,03 w/m.K
β	3,00E-03 1/K
Calor intercambiado	
Q _{cedido}	111,60 kcal/h
Q _{cedido}	0,13 kw

Tabla 9. Balance al cambiador de tubos.

ANEJO 3:

REACTOR

RACEWAY

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	2
2.- REACTOR RACEWAY.....	2
2.1.- Altura del canal.....	2
2.2.- Longitud del lazo	5
2.3.- Aporte de CO ₂	6
2.5.- Cálculo de las dimensiones del foso	6
2.6.- Circulación del cultivo en el reactor	10
2.7.- Volumen del reactor.....	13
3.- PLANTA DE REACTORES	14
3.1.- Productividad y volumen.....	14
3.2.- Número de reactores.....	15
3.3.- Caudal de nutrientes.....	15
4.- BIBLIOGRAFIA	16

1.- INTRODUCCIÓN

En este anejo se detalla el diseño del reactor utilizado, siendo este el punto principal de la instalación. Se diseña y se describe cada variable implicada en el mismo, así como los aportes necesarios para el cultivo de microalgas. El material a emplear en la construcción será polietileno.

2.- REACTOR RACEWAY

2.1.- Altura del canal

Para determinar la altura del canal del reactor raceway se ha realizado un estudio de las productividades de biomasa, tanto volumétricas como por área, con respecto a la concentración de biomasa a distintas alturas. La productividad volumétrica se obtiene con la expresión:

$$P_{bv} = \mu \cdot C_b \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

μ : velocidad de crecimiento del microorganismo, día⁻¹

C_b : concentración de biomasa, g/L

La velocidad de crecimiento del microorganismo viene dada por la siguiente ecuación basada en el modelo de Monod.

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot I_{av}^n}{I_k^n + I_{av}^n} \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

μ_{\max} : velocidad máxima de crecimiento, día⁻¹.

I_{av} : radiación promedio que llega al cultivo, la cual es necesaria para el desarrollo del microorganismo, $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$.

I_k : medida de la radiación obtenida cuando la velocidad de crecimiento del microorganismo es la mitad de la velocidad máxima, $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$

n : el valor de este índice es 2.

El valor de I_{av} , necesario para el desarrollo de los cálculos, se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$I_{av} = \frac{I_o}{k_a \cdot p \cdot Cb} \cdot (1 - \exp(-k_a \cdot p \cdot Cb)) \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

I_o : radiación solar media estimada que llega al reactor, $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$.

k_a : constante de extinción de la biomasa, m^2/g .

p : profundidad del reactor, en realidad es la distancia que recorrería la luz dentro del recipiente, m.

Para obtener la productividad por área se multiplica la productividad volumétrica por la profundidad del reactor que es equivalente a la relación volumen/superficie del mismo:

$$Pba = Pbv \cdot p \quad \text{Ec. 4}$$

donde:

Pbv : productividad de biomasa volumétrica, $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$.

p : profundidad del reactor, m.

El objetivo de este cálculo es la obtención de un valor de altura de cultivo en el reactor que permita alcanzar una productividad volumétrica lo más alta posible, para alcanzar la producción marcada. Los valores de los parámetros empleados son los siguientes:

Cálculo de profundidad y Cb :	
Parámetros	
I_o	769,00 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$
K_a	0,15 m^2/gr
$\mu_{\text{máx}}$	0,90 día^{-1}
N	2,00
lk	100,00 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$
Variables:	
p	
Cb	

Tabla 1. Valores de los parámetros utilizados para la realización del estudio de producción.

Con las anteriores expresiones y valores de los parámetros, se obtiene los siguientes gráficos:

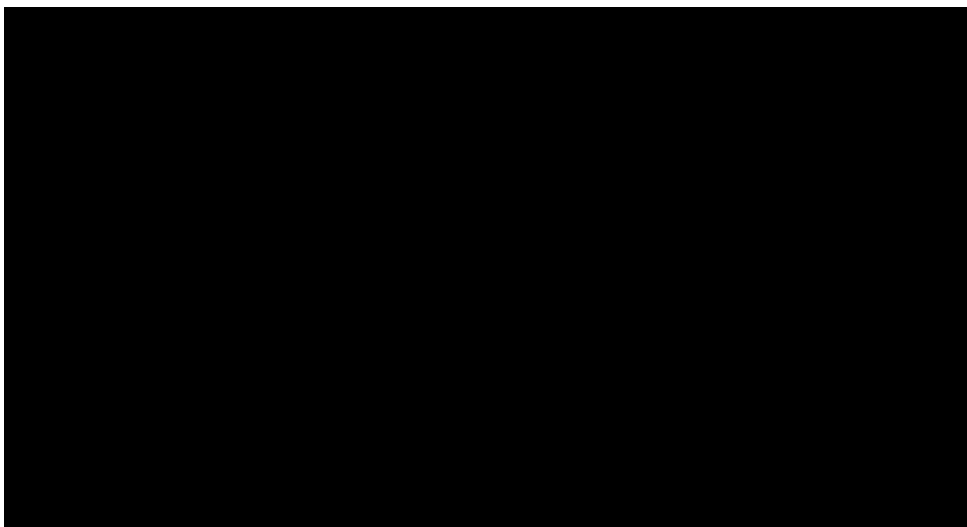
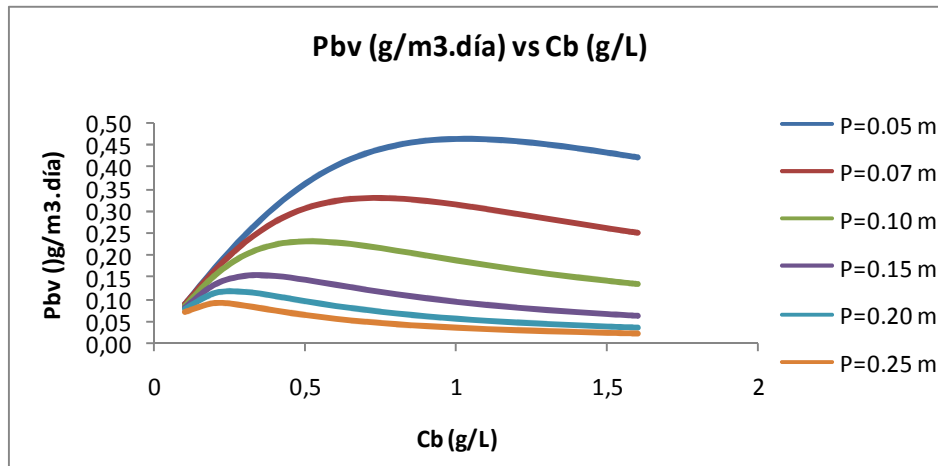


Fig. 1. Gráficos de productividades volumétricas y por unidad de área con respecto a la concentración de biomasa.

Los resultados obtenidos muestran como al aumentar la profundidad del cultivo o la concentración de biomasa en estado estacionario la productividad disminuye en términos volumétricos, pero la productividad por unidad de superficie alcanza un máximo de $23 \text{ g/m}^2\cdot\text{día}$ en todos los casos a una determinada concentración. Por tanto se llega a un acuerdo de compromiso en el que se pueda obtener la producción marcada con el menor coste posible, ya que a mayor volumen de cultivo menor consumo de energía unitario, y esto se hará con una profundidad de $0,1 \text{ m}$ y con una concentración de biomasa en estado estacionario de $0,5 \text{ g/L}$.

Cálculo de profundidad y Cb:	
p	0,10 m
Cb	0,50 g/L
μ	0,46 día ⁻¹
Pbv	0,23 g/L.día
Pba	23,06 g/m ² .día

Tabla 2. Resultados del estudio de productividad y determinación de la profundidad del reactor.

2.2.- Longitud del lazo

La longitud del lazo viene determinada por la relación L/D y la superficie unitaria del reactor. Se va a considerar una superficie unitaria de 4.000 m² y con una relación L/D de 20, para poder aplicar los estudios desarrollados por W. J. Oswald. Partiendo de esto se procede del siguiente modo:

$$S_{unitaria} = L \cdot D \cdot N^{\circ} \text{ canales} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$S_{unitaria}$: superficie de cada reactor, m². El valor adoptado es de 4000 m².

L: longitud del lazo, m.

D: anchura del canal, m.

N^o canales: 2.

L/D: parámetro de diseño adoptado por Oswald, 20.

Ordenando la ecuación, poniendo las variables implicadas de forma adecuada:

$$L = \left(\frac{S_{unitaria} \cdot \left(\frac{L}{D} \right)}{N^{\circ} \text{ canales}} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. 6}$$

Poniendo todas las variables en las unidades apropiadas, una longitud de lazo de 200 m y un ancho de canal de 10 m. El ancho total del reactor es de 20 m.

2.3.- Aporte de CO₂

El aporte de CO₂ al reactor se va a realizar en función de la relación establecida entre kg de CO₂ por cada kg de biomasa producida. Esta relación es de 1,8 en valor estequiométrico pero se ha considerado un valor real de 2,5 para compensar posibles pérdidas.

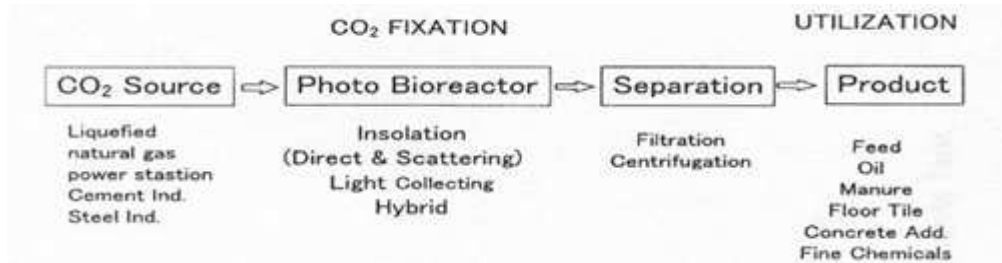


Fig. 2. Concepto de fijación de CO₂ biológico y sistema de utilización.

Puesto que se ha marcado una producción anual de 1.000 Tn, se puede establecer el consumo anual de CO₂, mediante la expresión siguiente:

$$\text{ConsumoCO}_2 = \text{Producción} \left(\frac{\text{kgbiomasa}}{\text{año}} \right) \cdot 2,5 \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kgbiomasa}} \right) \quad \text{Ec. 7}$$

Mediante la ecuación anterior se obtiene un consumo de CO₂ de 2.500 Tn/año. Tomando como tiempo medio de operación 300 días al año, se obtiene 8,3 Tn/día de CO₂, requerido para llegar a la producción marcada.

2.5.- Cálculo de las dimensiones del foso

Se va a considerar la construcción de un foso de forma rectangular que permitirá aumentar la transferencia de materia del gas-líquido, de modo que la inyección de CO₂ al cultivo mejore el control de pH y aumente la eficiencia del reactor. Para el diseño del foso se considera como fenómeno determinante la capacidad de transferencia de materia, de modo que sea lo suficientemente grande y eficaz para desorber oxígeno como para absorber eficientemente CO₂, especialmente en el caso de emplear gases de combustión para los que la fuerza impulsora es menor.

Si existe una diferencia de concentraciones en el líquido y en la interfase, ocurre una transferencia de materia, la cual es representada empíricamente por:

$$N = k_L(C_i - C_L) \quad \text{Ec. 8}$$

Como es muy difícil conocer C_i en la interfase se recurre al uso de los coeficientes globales de transferencia de materia, quedando la ecuación:

$$N = K_L(C_g^* - C_L) \quad \text{Ec. 9}$$

C_g^* : concentración de gas en la solución en equilibrio con la fase gaseosa.

C_L : concentración del gas en la fase líquida.

Es difícil conocer con certeza el área a través de la cual se produce la transferencia, se puede medir el flujo que se transfiere de una fase a otra pero no la densidad de flujo. Por esto se define el coeficiente volumétrico de transferencia de materia:

$$a: \text{área interfacial por unidad de volumen} = \frac{A}{V} \quad \text{Ec. 10}$$

Quedando esta ecuación:

$$Q_{gas} = K_L a (C_g^* - C_L) \cdot V \quad \text{Ec. 11}$$

Q_{gas} : caudal de gas al foso, moles/s.

$K_L a$: coeficiente volumétrico global de transferencia de materia, obtenido experimentalmente, s^{-1} .

Aplicando la Ley de Henry se puede obtener la concentración del CO_2 en equilibrio con la fase líquida, por medio de la ecuación:

$$C_g^* = H \cdot P^{\wedge} \quad \text{Ec. 12}$$

que queda transformada en:

$$C_g^* = H \cdot P_T \cdot \frac{n_i}{n_T} \quad \text{Ec.13}$$

H: Cte de Henry para el CO_2 , $mol/m^3 \cdot atm$

P_T : Presión atmosférica, atm.

n_i/n_T : fracción molar de CO_2 en el gas.

Por tanto, refiriendo todo esto al CO₂ que se inyecta en el foso, se obtiene el volumen necesario para llevar a cabo la transferencia de materia de CO₂ en el foso del reactor. Hay que considerar que en el líquido inicialmente no hay CO₂, por lo que se simplifican los cálculos. Por tanto el volumen del foso se calcula a partir de las ecuaciones anteriores, obteniendo la profundidad de éste del modo siguiente:

$$V_{foso} = A_{foso} \cdot h_f = a_f \cdot b_f \cdot h_f \quad \text{Ec. 14}$$

$$h_f = \frac{V_{foso}}{(a_f \cdot b_f)} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

V_{foso} : Volumen del foso, donde se lleva a cabo la transferencia de CO₂, m³.

a_f : ancho del foso, m.

b_f : largo del foso, m.

h_f : profundidad del foso, m.

Corriente de gas de combustión al reactor	
Q _{gas}	61,85 kg/h
Q _{gas}	0,59 mol/s
H _{co₂} (Cte Henry)	33,80 mol/m ³ .atm
K _{la}	0,01 s ⁻¹
P _T	1,00 atm
y _{CO₂}	0,10
Características del foso	
V _{foso}	17,53 m ³
a _f	10,00 m
h _f	1,50 m
b _f	1,17 m
Relación teórica V _{foso} /V _{reactor}	1/20
Dimensiones reales del foso	
V _{foso} real	18,00 m ³
a _f real	10,00 m
h _f real	1,50 m
b _f real	1,20 m

Tabla 3. Características de la corriente de CO₂ y del foso del reactor.

Para asegurar que se lleva a cabo la transferencia de materia en el foso, y en base a los distintos estudios realizados en reactores raceway con dispositivos parecidos, se toma como criterio 1,50 m de profundidad de foso. Con este dato y considerando la anchura del foso la anchura del canal del reactor, 10 m, se obtiene una longitud de 1,20 m.

2.4.- Difusores de CO₂

Para la difusión de CO₂ se propusieron varios sistemas de difusores, entre ellos: tubo perforado de PVC, membrana microperforada de polipropileno y tubo poroso de PVC. Se realizaron distintos ensayos utilizando el método dinámico para determinar el coeficiente de transferencia de materia. Los resultados obtenidos determinaron que el mayor $K_L a$ que podía dar era el correspondiente la membrana de polipropileno, con un valor de 0,01 1/s. Esto es normal ya que el tamaño de burbuja en la membrana microperforada es mucho menor del orden de 1mm. La reducción del tamaño de la burbuja no solo aumenta el coeficiente de transferencia sino también el área interfacial de intercambio. Por otro lado, cuanto menor es el diámetro de burbuja mayor es la pérdida de carga generada por el burbujeador y menor el caudal de gas introducido. El número de difusores necesarios vendrá impuesto por la cantidad de gas necesario para satisfacer la producción marcada y el caudal impuesto a través del difusor. A continuación se expone una tabla con todas las especificaciones:

Difusores de gas	
Propiedades físicas del gas	
densidad gas	1,19 kg/m ³
Caudal gas	1484,44 kg/día
Caudal gas	1250,82 m ³ /día
Difusor de gas	
caudal impuesto difusor	40,00 l/min
caudal impuesto difusor	57,60 m ³ /día
nº difusores	22,00
Características del difusor elegido	
Material	membrana de polipropileno
Modelo	AFD 270
Caudal por difusor	7,00 m ³ /h
Caudal por difusor	116,67 l/min
nº discos/difusor	1,00
diámetro del difusor	0,27 m
Ranuras	6.600,00
Área difusor	0,04 m ²
Disposición de los difusores 2*11	
Área ocupada por el difusor	0,83 m ²
Espacio entre difusores ancho canal	0,59 m
Espacio entre difusores largo canal	0,22 m

Tabla 4. Características de la difusión de gas.

La membrana seleccionada es de la empresa ECOTEC, modelo AFD 270. Son difusores tipo plato, cuyo cuerpo es de polipropileno por lo que aguantan rangos de temperatura elevadas (hasta 100°C). Los difusores se unen a la tubería mediante acoplamiento roscados de ¾". Las tuberías van acopladas unas a otras mediante manguitos de unión que compensan las posibles dilataciones. La sustitución de las membranas o de los difusores es muy sencilla. Presenta una alta transferencia de materia, y una baja pérdida de carga por lo que resulta un sistema muy económico.

La disposición de los difusores se realizará de forma que se llegue a cubrir la mayor parte de la superficie del foso. Por lo que se dispondrán como un sistema de red de 11x2 difusores. Las distancias entre los difusores están detalladas en la tabla anterior. De esta forma cubrimos toda el área del foso.

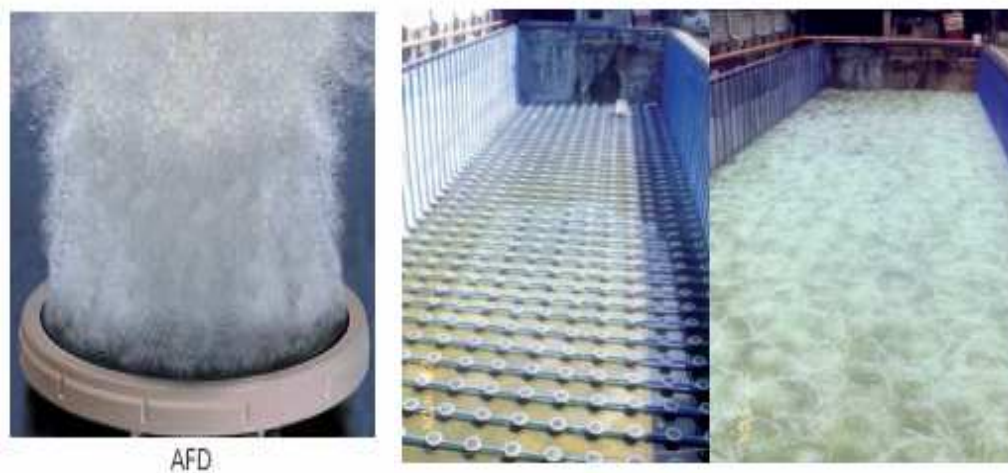


Fig. 3. Imagen del difusor de membrana AFD. Ejemplo de distribución de los difusores en un sistema de red.

2.6.- Circulación del cultivo en el reactor

Para que el cultivo este perfectamente mezclado y todas las células estén expuestas a la luz, se acopla un agitador de paletas con un motor capaz de mover todo el volumen de cultivo. Para ello es necesario calcular la energía que debe suministrar el motor para hacer circular el cultivo. Este dato se obtiene aplicando la ecuación propuesta por W. J. Oswald:

$$P = \frac{Q \cdot \rho \cdot \Delta d}{102 \cdot e} \quad \text{Ec. 16}$$

donde:

P: potencia del motor, Kw.

Q: caudal de cultivo en movimiento, m³/s.

ρ: densidad de cultivo, kg/m³.

Δd: diferencia de altura que creada en la inmediación de las palas, m.

e: eficiencia de las palas.

Antes de abordar este cálculo, se determinará el Reynold y el radio hidráulico, con las siguientes ecuaciones:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot dh}{\mu} \quad \text{Ec. 17}$$

donde:

ρ: densidad de cultivo, kg/m³.

v: velocidad de circulación, m/s.

dh: diámetro hidráulico, m.

μ: viscosidad del cultivo, kg/m.s.

$$dh = 4 \cdot rh \quad \text{Ec. 18}$$

$$rh = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{D \cdot p}{D + 2p} \quad \text{Ec. 19}$$

donde:

Rh: radio hidráulico, m.

D: anchura del canal, m.

p: profundidad del canal, m.

La pérdida de energía hidráulica por fricción viene determinada por una función compleja que depende de la velocidad al cuadrado, del radio hidráulico y de la fricción propiamente dicha.

$$\frac{\partial d}{\partial L_T} = f(V^2, Rh, f) \quad \text{Ec. 20}$$

La ecuación de Manning es usada como una solución empírica de esta función compleja, ya que se trata de canales abiertos:

$$V = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot s^{1/2} \quad \text{Ec. 21}$$

V: velocidad media en el canal, m/s.

n : factor de fricción de Manning. Depende del material de construcción del canal, $s/m^{1/3}$.

s : pérdida de carga por fricción en el canal por unidad de longitud (pendiente de la línea de agua), adimensional.

L_T : longitud total que debe recorrer una partícula en el seno del fluido, m.

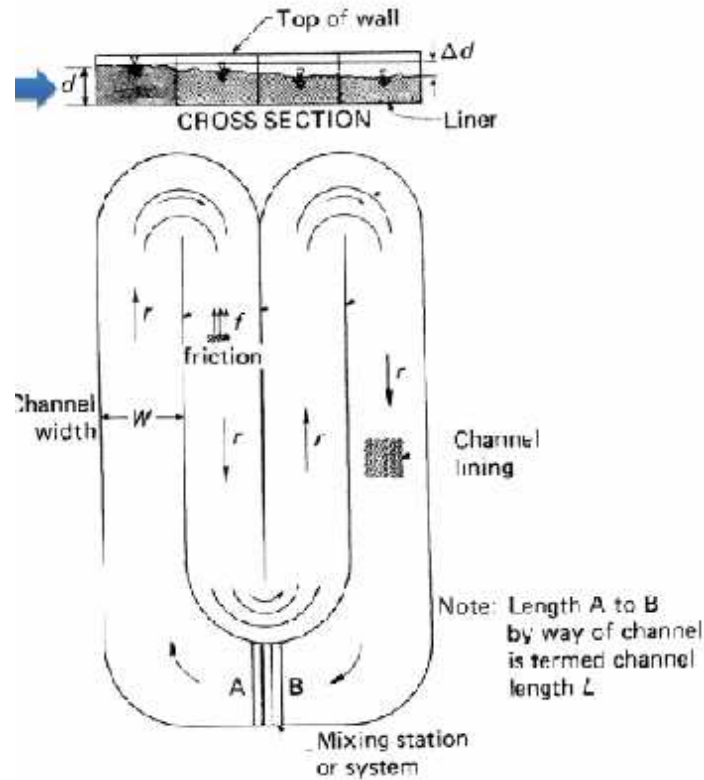


Fig. 4. Esquema de un fotobioreactor raceway

Así, la ecuación anterior queda del modo siguiente:

$$s = \frac{\Delta d}{L_T} = \frac{V^2 \cdot n^2}{Rh^{\frac{4}{3}}} \quad \text{Ec. 22}$$

Despejando Δd , se tiene:

$$\Delta d = L_T \cdot s = \frac{L_T \cdot V^2 \cdot n^2}{Rh^{\frac{4}{3}}} \quad \text{Ec. 23}$$

Tomando los valores correspondientes a cada una de las variables y utilizando las ecuaciones anteriores se obtienen los siguientes resultados:

Propiedades físicas	
Q	0,30 m ³ /s
ρ cultivo	1000,00 kg/m ³
μ cultivo	0,001 kg/m.s
Circulación por el canal y pérdida de carga	
D	10,00 m
p	0,10 m
v	0,30 m/s
Rh	0,098 m
Reynolds	117647,10
s (Oswald)	0,0002
Δd	0,0921 m
Potencia y consumo	
Eficiencia paddle wheel	0,50
n factor manning	0,010 s/m ^{1/3}
Potencia palas (Oswald)	0,54 kW
Potencia	0,74 CV
Consumo energía	1,36 W/m ³

Tabla 5. Parámetros relativos a la circulación del cultivo por el reactor.

Como el volumen del reactor que está en movimiento son 400 m³, el consumo de energía por reactor es de 1,36 W/m³. A partir del valor de la potencia se escogerá el motor necesario para satisfacer las necesidades de circulación del cultivo.

2.7.- Volumen del reactor

El volumen total del reactor se ha de considerar el volumen expuesto a fotosíntesis, que en este caso es el volumen de ambos lazos, y el volumen del foso. Así, el volumen total de cada reactor es:

$$V_{\text{reactor}} = V_{\text{lazos}} + V_{\text{foso}}$$

Volumen del fotobioreactor	
V lazos	400 m ³
V foso	18 m ³
V total	418 m ³

Tabla 6. Volumen del fotobioreactor.

3.- PLANTA DE REACTORES

3.1.- Productividad y volumen

Se establece que en función de la producción marcada como objetivo, 1.000 Tn anuales de biomasa, se obtiene el volumen total de la planta, la productividad volumétrica y por unidad de área. Con las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, del apartado 2.1, se obtuvieron los siguientes resultados:

Características de la planta de reactores	
Datos experimentales de radiación y de la microalga	
I_0	769,00 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$
K_a	0,15 m^2/g
$\mu_{\text{máx}}$	0,90 día^{-1}
n	2,00
I_k	100,00 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$
Valores de producción	
C_b	0,50 g/L
μ	0,46 día^{-1}
P_{bv}	0,23 g/L.día
P_{ba}	23,06 $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$
Tiempo de operación	300,00 días/año
Capacidad de producción	1000,00 Tn/año

Tabla 7. Características de la planta de reactores raceway.

La velocidad de dilución óptima considerada es aproximadamente la mitad de la velocidad de crecimiento máxima de la microalga, valor estable de estado estacionario en el cuál se debe cumplir que la velocidad de crecimiento del microorganismo sea igual a la velocidad de dilución empleada en el cultivo. Por tanto: $\mu=D=0,46$ (1/día).

Con el valor de productividad se pasa a calcular el volumen de cultivo necesario para obtener 1.000 Tm de biomasa al año. Teniendo en cuenta que se trabaja un total de 300 días al año, el volumen estimado para obtener los resultados marcados es:

$$V_{\text{cultivo}} = \frac{\text{Capacidad} \cdot \text{producción}}{t_{\text{operación}} \cdot P_{bv}} \quad \text{Ec. 24}$$

A partir de la ecuación 24, se obtiene el volumen de cultivo en el conjunto de reactores que forman la planta de producción de microalgas. Este volumen es de 14.493 m³.

3.2.- Número de reactores

Para el cálculo del número de reactores se debe partir del dato de producción que queremos alcanzar como objetivo en todo el sistema de cultivo.

$$n^{\circ} \text{ reactores} = \frac{\text{Capacidad. producción}}{t_{\text{operación}} \cdot Pbv \cdot V_{\text{reactor}}} \quad \text{Ec. 25}$$

$$V_{\text{reactor}} = \text{Sup.unitaria} \cdot p \quad \text{Ec. 26}$$

Se debe prever posibles paradas en alguna unidad de producción por diversas causas (limpieza de la unidad, fallo en la producción, etc), por lo que el número real de fotobiorreactores en la planta será un 10 % superior al valor obtenido.

Cálculo del número de reactores	
Capacidad producción	1000,00 Tn/año
t _{operación}	300,00 días/año
Pbv	0,23 g/L.día
Sup.unitaria	4000,00 m ²
p	0,10 m
V _{reactor}	400,00 m ³
Nº reactores operativos	37,00
Nº total reactores	40,00

Tabla 8. Cálculo del número de reactores.

3.3.- Caudal de nutrientes

El caudal de nutrientes que se necesita aportar a cada reactor, según la demanda de los mismos por parte de la microalga, se determina a partir del tiempo de residencia del cultivo dentro del reactor. Este dato se calcula a partir de la velocidad de dilución óptima, de la siguiente forma:

$$t_R = \frac{1}{\mu} \quad \text{Ec. 27}$$

A partir del tiempo de residencia se puede calcular el caudal de medio necesario para cada reactor. Este dato se calcula con la ecuación:

$$t_R = \frac{V_{cultivo}}{Q_t} \quad \text{Ec. 28}$$

$$Q_t = \frac{V_{cultivo}}{t_R} \quad \text{Ec. 29}$$

$$Q_r = \frac{Q_t}{n^{\circ} \text{ reactores}} \quad \text{Ec. 30}$$

Utilizando las expresiones anteriores, se obtiene la siguiente tabla:

Caudal de nutrientes	
$V_{cultivo}$	14.458,04 m ³
μ	0,46 1/día
t_r	2,17 días
Q_{total}	6.666,67 m ³ /día
Nº reactores operativos	37,00
$Q_{reactor}$	180,18 m ³ /día

Tabla 9. Caudal de nutrientes.

El medio está compuesto por agua residual a la que ocasionalmente se le añaden fertilizantes cuando la proporción de nutrientes está por debajo del 1%. Esto se detalla en el anejo correspondiente al acondicionamiento del medio de cultivo. Los fertilizantes a emplear son: Nitrato sódico y Fosfato Monopotásico.

4.- BIBLIOGRAFIA

Referencias:

- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, M., "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química", 4ª edición. Ed. McGraw-Hill, 1998.
- Geankoplis, C. J., "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", 3ª edición. Compañía Editorial Continental, México 1998.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., Backhurst, J. R., Harper, J. H., "Ingeniería Química. Operaciones Básicas". Ed. Reverté. 1979.
- Oswald, W.J., 1988. Micro-algae and waste-water treatment. In: Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J. (Eds.), Microalgal Biotechnology. Cambridge University Press, New York, USA, pp. 305–328.

- Perry, R. H., Green, D. W., Maloney, J. O., "Chemical Engineers Handbook", 7TH edition. Ed. McGraw-Hill, 2001.

ANEJO 4:

FLOCULACIÓN- DECANTACIÓN

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- FLOCULACIÓN.....	2
2.1.- Definición.....	2
2.2.- Factores que influyen en el proceso de floculación.....	3
3.- SEDIMENTACIÓN.....	6
3.1.- Sedimentación por zonas.....	6
3.2.- El decantador-espesador.....	8
3.3.- Diseño del decantador-espesador.....	11
3.3.1.- Método de Cloe-Covenger.....	11
3.3.2.- Método de Talmage-Fitch.....	13
3.3.3.- Comparación de ambos métodos. Resultados.....	15
4.- BIBLIOGRAFÍA.....	17

1.- INTRODUCCIÓN.

Desde hace más de tres décadas se estudian diferentes técnicas de floculación con el fin de disminuir la carga orgánica de los efluentes, y para decantar la biomasa de microalgas del medio donde se cultivan. La centrifugación, a pesar de ser uno de los métodos más explotados por su rapidez y calidad, tiene la desventaja de consumir mucha energía. Por eso se impone la necesidad de utilizar otros métodos acoplados que resulten económicamente viables, tal es el caso de la utilización de floculantes.

2.- FLOCULACIÓN.

2.1.- Definición.

La agregación de coloides se denomina coagulación-floculación. La diferencia entre estos dos términos es:

- Coagulación: es el proceso por el que los componentes de una suspensión o disolución estable son desestabilizados por superación de las fuerzas que mantienen su estabilidad.
- Floculación: es el proceso por el que las partículas desestabilizadas se unen para formar grandes partículas estables o aglomerados.

En ocasiones estos dos términos van ligados, ya que se superponen en el tratamiento de efluentes. Normalmente se suelen realizar en primer lugar tratamiento con coagulantes para desestabilizar las suspensiones, y posteriormente se lleva a cabo la floculación para agregar los flóculos y conseguir mejores resultados. Aunque esto no es estrictamente necesario, siempre y cuando los resultados satisfagan los objetivos planteados.

Los floculantes son compuestos orgánicos que se dividen en naturales o sintéticos. Los compuestos naturales están representados por el grupo de los polisacáridos (almidón y sus derivados) y las gomas vegetales. Los sintéticos son polímeros y se dividen en tres tipos: no iónicos e iónicos, siendo estos últimos aniónicos o catiónicos.

- a) Polímeros orgánicos no iónicos (no tienen carga): Son casi exclusivamente las poliacrilamidas. Su masa molar es de 1 a 20 millones. Su grado de polimerización es del orden de 15000.
- b) Polímeros iónicos (polielectrolitos): Estos se clasifican según su naturaleza iónica: Catiónicos (carga positiva): poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas, policrilatos y polimetacrilatos; Aniónicos (carga negativa): Polivinilaminas

Por su longitud de cadena se fijan a las partículas sólidas y tienden a atrapar a las partículas más próximas creando a modo de unos puentes, de modo que suprime el movimiento de la partícula aislándola del resto.

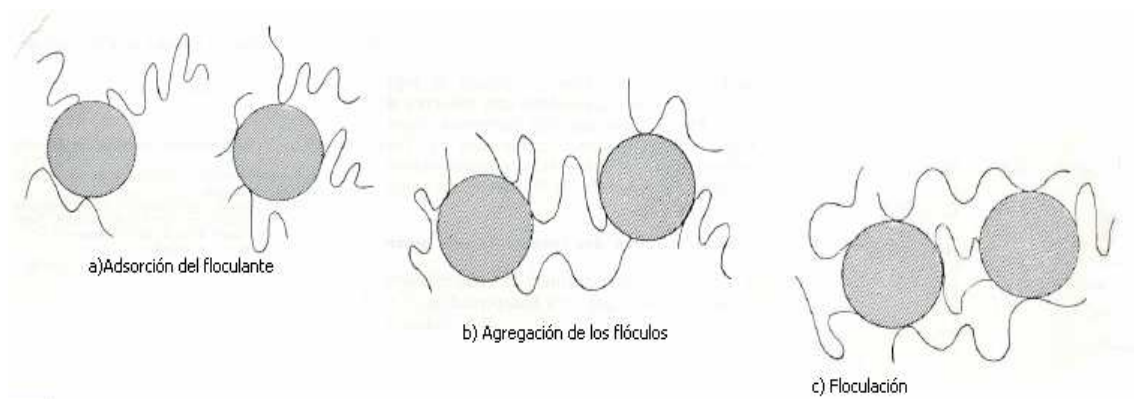


Fig. 1. Efecto de los flocculantes en la sedimentación de partículas.

La acción de polímeros catiónicos sobre partículas cargadas negativamente es algo similar al proceso de coagulación, en que la neutralización de las cargas superficiales predomina por sobre la formación de puentes. Esta agregación recibe el nombre de floculación electrostática. Este proceso se debe distinguir de la secuencia de coagulación electrostática de una suspensión seguida por una floculación por puente.

2.2.- Factores que influyen en el proceso de floculación.

Los factores que influyen en el proceso de floculación son los siguientes:

- a) Razón óptima cantidad de polímero/cantidad de sólido: la floculación de un sistema coloidal no se puede aumentar indefinidamente. Por encima de una concentración óptima la adición de un polímero es contraproducente.

La cantidad de floculante está estrechamente relacionado con la concentración del medio a flocular. Aunque exista cierta relación entre la turbidez del medio y la dosis apropiada de floculante, la adición óptima se determina en laboratorio mediante ensayos. En la figura siguiente se puede ver que hasta una cierta concentración, todo el polímero es adsorbido por las partículas. El punto por encima del cual, no todo el polímero es adsorbido, corresponde a la adición óptima teórica.

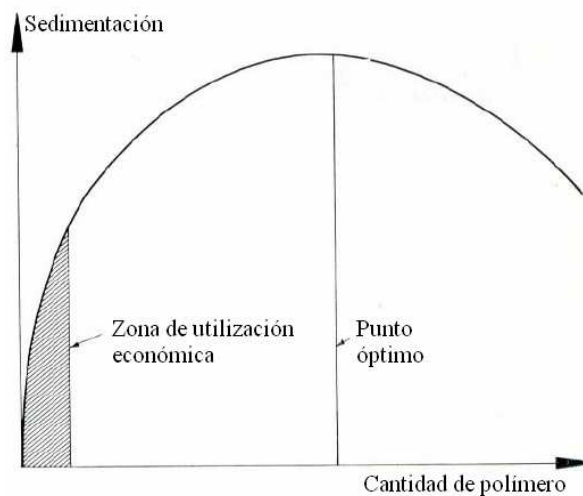


Fig. 2. Curva del % Sedimentación con respecto a la cantidad de polímetro.

El tamaño de partícula también influye en la cantidad de floculante, ya que cuando se trata de partículas muy finas son más difíciles de coagular que las partículas más grandes, y en ese caso se necesitarían más cantidad de floculante.

b) Efecto del peso molecular del floculante: A mayor peso molecular, mayor longitud de cadena y mayor velocidad de sedimentación a igualdad de cantidad de polímero añadido.

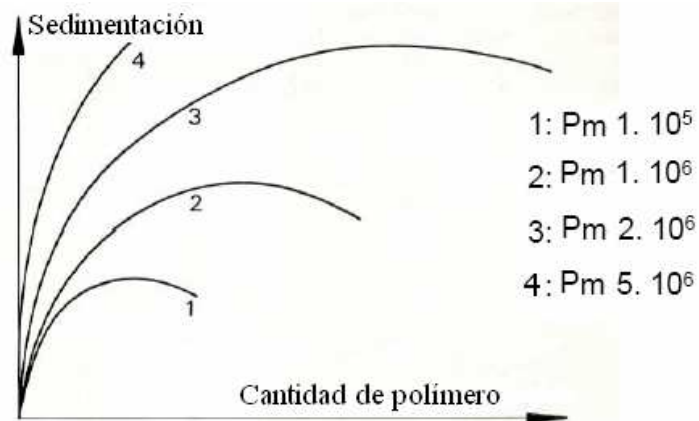


Fig. 3. Efecto del peso molecular del floculante

c) Modos de uso de los polímeros: Los ensayos muestran que para la utilización de poliacrilaminas la concentración óptima es inferior a 0,5 g/L. Por efecto del floculante, se obtiene, más rápidamente no solo un sedimento con mayor concentración de sólidos sino también un clarificado mucho más limpio.

d) Efecto de la temperatura: La temperatura es un factor limitante. Por debajo de un cierto valor, los rendimientos de clarificación no son buenos. La temperatura influye sobre varias propiedades físicas como viscosidad, solubilidad, pH, etc. También puede influir en el tiempo del proceso de floculación.

e) Tiempo de mezcla: tiempo transcurrido entre la adición de coagulante y el final de la agitación. Este factor se ha de controlar, ya que en ocasiones los periodos largos favorecen el proceso, mientras que otras veces puede provocar la ruptura de los flóculos formados. Esta muy relacionado con la fuerza de agitación.

f) Fuerza de agitación: lo que se hace es someter al cultivo a una mezcla rápida, seguida de otra lenta. La primera dispersa el floculante y fomenta las colisiones entre partículas. La segunda consigue aumentar el tamaño del floculo por el movimiento suave evitando la ruptura por efecto de las fuerzas de cizalla.

3.- SEDIMENTACIÓN.

El fenómeno de la sedimentación de las partículas floculadas o en proceso de floculación es esencialmente distinto al de las partículas discretas. Las partículas floculadas se van aglomerando entre sí en su descenso por adsorción o coalescencia. El tamaño de los flóculos aumenta y también su velocidad de sedimentación.

La altura de la zona de decantación es importante en la eficiencia del decantador. Los flóculos formados se van juntando en agrados en su descenso con lo que el rendimiento alcanzado es función directa del recorrido vertical. Las oportunidades de contacto entre los flóculos y, por tanto, de su reunión por absorción aumentan a medida que el recorrido vertical es mayor. En estas condiciones, el porcentaje de retención de las materias suspendidas depende, para un determinado caudal, de la superficie y la profundidad, es decir, del tiempo de retención. En los decantadores usados ocurre un fenómeno de sedimentación típicamente por zonas.

3.1.- Sedimentación por zonas.

En el proceso de sedimentación de una suspensión, las partículas están tan próximas las unas de las otras que sus campos de velocidades respectivas interfieren entre sí. El líquido experimenta un desplazamiento hacia arriba frenando la sedimentación de las partículas. En el instante inicial, t_0 , de la decantación, toda la suspensión es teóricamente homogénea y tiene una concentración uniforme, C_0 y la altura de la interfase es h_0 .

Existe una interzona de separación entre el líquido clarificado, zona L, y una zona de suspensión uniforme (concentración uniforme), zona U, con velocidad de sedimentación función de la concentración.

Posteriormente se forman nuevas zonas:

- Zona de transición, zona T, situada inmediatamente debajo de la zona de suspensión uniforme, en las que la velocidades de sedimentación experimentan una reducción a consecuencia de la creciente concentración de la suspensión.

- Zona de compresión, zona D, situada debajo de la zona de transición, en que las partículas entran en contacto físico con las situadas debajo de ellas.

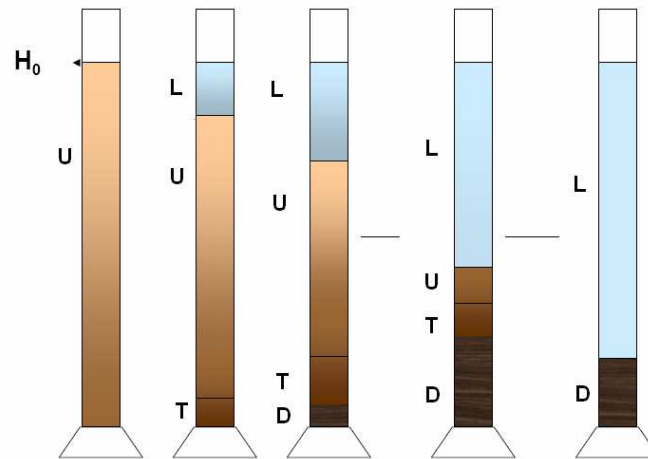


Fig. 4. Evolución de la sedimentación por zonas en una probeta de laboratorio.

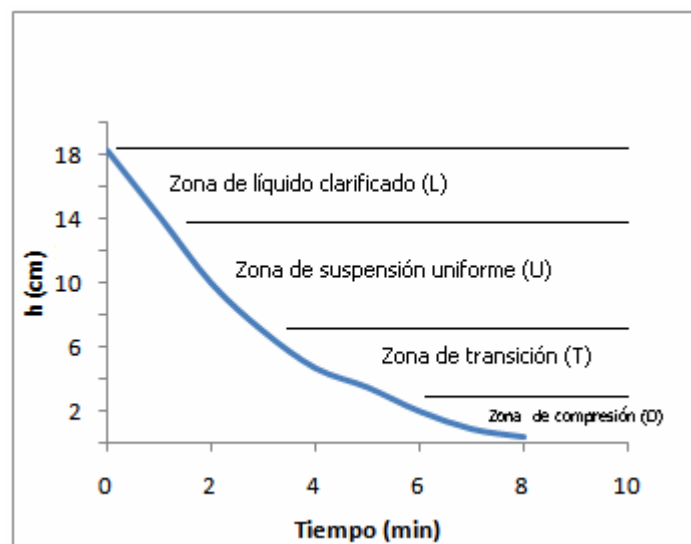


Fig. 5. Representación gráfica de las distintas zonas formadas durante el fenómeno de la sedimentación con floculante.

3.2.- El decantador-espesador.

La principal función de un decantador continuo es concentrar los sólidos en suspensión mediante asentamiento por gravedad, para lograr un balance de materia en régimen estacionario con extracción continua de sólidos, especialmente en el efluente inferior a la velocidad con que entran en la alimentación. Normalmente, se mantiene una cantidad de pulpa, que permanecerá constante para conseguir la concentración deseada si la alimentación también se mantiene constante. Este volumen variará algo con los cambios de las condiciones de operación. A veces, la cantidad de pulpa que se mantiene se usa para almacenar sólidos cuando la velocidad de alimentación y del efluente inferior se reduce o se suspende temporalmente.

Para el caso de la utilización de agente floculante, el espesador dispone frecuentemente de un lento agitador, que provoca una disminución de la viscosidad aparente de la suspensión y colabora también a la consolidación del sedimento.

Un decantador-espesador tiene varios componentes básicos: un tanque para contener la suspensión, la tubería de alimentación y un pozo de alimentación para permitir a la corriente de la alimentación entrar en el tanque, un mecanismo de rastrillos para llevar los sólidos concentrados a los puntos de extracción, un sistema de extracto de sólidos del efluente inferior y un lavador de efluente superior.

El espesador discontinuo consiste normalmente en un depósito cilíndrico provisto de un fondo cónico. Una vez que la sedimentación se ha desarrollado durante un tiempo adecuado, se retira por el fondo el líquido espesado, separándose el líquido claro desde la parte superior a través de una tubería ajustable.

El espesador continuo consiste en un depósito poco profundo de gran diámetro, de fondo plano. La alimentación entra por el centro a una profundidad generalmente de 1 m por debajo de la superficie del líquido, con la menor turbulencia posible. El líquido espesado es retirado continuamente a través de una salida situada en el fondo, y los sólidos depositados en el fondo del depósito son dirigidos hacia esta salida por medio de un rastrillo provisto de rasquetas que gira lentamente. El rastrillo está montado sobre bisagras, de

manera que sus brazos se elevan automáticamente si el momento de torsión excede a un cierto valor. Esto evita que resulte dañado si se encuentra sometido a una sobrecarga. Gracias a la acción del rastrillo, se obtiene un grado de espesamiento superior al de la instalación discontinua. El líquido clarificado se retira continuamente a través de un rebosadero que rodea completamente al borde superior del depósito. Por tanto, los sólidos se desplazan continuamente hacia abajo, y a continuación hacia el centro dirigiéndose hacia la salida de líquido espesado. El líquido se desplaza hacia arriba y radialmente hacia el rebosadero. En general, no hay ninguna región de concentración constante en el espesador continuo.

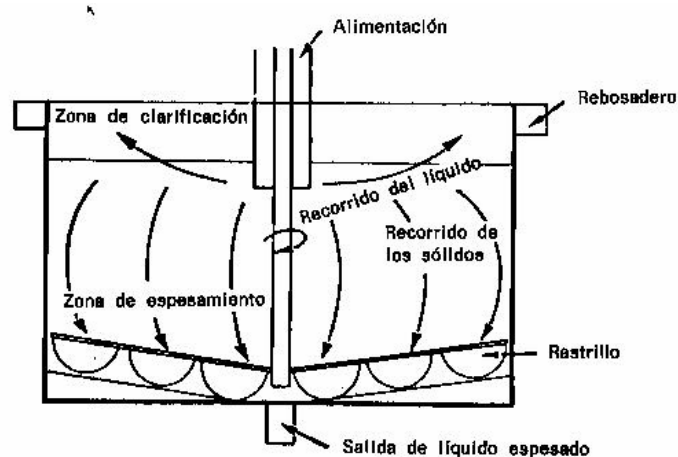


Fig. 6. Flujo en un espesador continuo.

El espesador tiene una doble función. En primer lugar debe producir un líquido claro y, por tanto, la velocidad ascendente del líquido debe ser siempre menor que la velocidad de sedimentación de las partículas. Así, para una capacidad dada, la capacidad de clarificación está determinada por el diámetro del depósito. En segundo lugar, el espesador debe proporcionar un grado determinado de espesamiento de la suspensión. Esto está controlado por el tiempo de residencia de las partículas en el depósito, o sea, por la profundidad existente por debajo de la entrada de la alimentación.

El funcionamiento satisfactorio del espesador como clarificador depende de la existencia en la parte superior de una zona de contenido de sólidos despreciable. En esta zona debe tenderse a alcanzar unas condiciones tales que se desarrolle una sedimentación libre, de manera que la velocidad de

sedimentación de cualquier partícula que haya sido transportada hasta esta altura sea suficiente para conseguir de nuevo su sedimentación frente a la corriente ascendente de líquido. Si esta zona superior no es suficientemente profunda, parte de las partículas más pequeñas pueden escapar con el líquido que rebosa. La velocidad volumétrica de flujo del líquido que asciende a través de la zona de clarificación es igual a la diferencia entre la velocidad de alimentación de líquido en la suspensión y la velocidad de separación por el drenaje inferior. Por tanto, las condiciones existentes en la zona de clarificación están determinadas por la concentración de sólidos en el líquido espesado y por la cantidad total del mismo. En un tanque de sedimentación continua, por tanto, debe tenerse en cuenta la velocidad hacia abajo debida a la separación del flujo inferior.

La concentración de sólidos en la corriente subálvea o inferior, será función de la profundidad del depósito por debajo del punto de alimentación y del tiempo de residencia de los sólidos en el espesador. En la mayor parte de los casos, el tiempo de compresión del sedimento será grande comparado con el tiempo necesario para que se alcancen las condiciones de sedimentación crítica para una porción cualquiera de la suspensión. El tiempo necesario para concentrar el sedimento después de que haya alcanzado las condiciones críticas, puede determinarse aproximadamente dejando sedimentar una muestra de la suspensión en las condiciones críticas en un tubo vertical de vidrio, y midiendo el tiempo necesario para que la interfase entre el sedimento y el líquido claro descienda hasta un nivel tal que la concentración sea la requerida en la corriente inferior del espesador. Esta concentración media del sedimento no es igual a la que se obtendría en el espesador transcurrido el mismo tiempo, ya que en éste las distintas partes del sedimento están sujetas a compresión durante tiempos diferentes y, además, el tiempo necesario no es independiente de la profundidad.

El fondo de los depósitos debe ser ligeramente inclinado para facilitar el flujo del material hacia la salida de líquido espesado. El diámetro del depósito suele ser grande comparado con su profundidad, requiriéndose por tanto un área de terreno elevada.

Los espesadores pueden tener diámetros comprendidos desde unos pocos metros hasta varios centenares. Los más pequeños se construyen de

madera o metal; los más grandes generalmente son de hormigón y los agitadores y rastrillos son movidos por medio de motores de tracción que se desplazan sobre raíles alrededor de toda la circunferencia. En forma característica, los tanques industriales de hasta 30 m de diámetro están hechos de acero.

3.3.- Diseño del decantador-espesador.

Para abordar esta tarea se ha realizado el estudio de dos métodos de obtención del Área de decantación. En primer lugar, se desarrollara el método tradicional de Cloe-Covenger o de Kynch-Robert para la determinación de la velocidad de sedimentación de las partículas floculadas; y posteriormente se expondrá el método definido por Talmage y Fitch.

3.3.1.- Método de Cloe-Covenger.

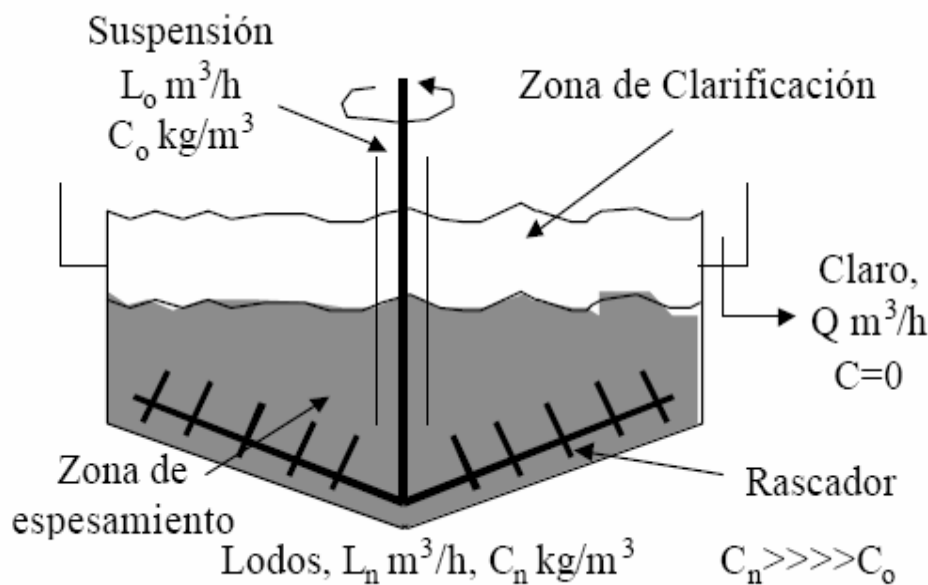


Fig. 7. Definición de zonas del decantador y corrientes de entrada y salida.

En el instante inicial de la decantación, toda la suspensión es teóricamente homogénea y tiene una concentración uniforme. Si el sistema es estacionario, un balance de materia indica que,

$$L_0 = Q + L_n \quad \text{Ec. 1}$$

$$L_0 \cdot C_0 = L_n \cdot C_n \quad \text{Ec. 2}$$

$$L_n = \frac{L_0 \cdot C_0}{C_n} \quad \text{Ec. 3}$$

Aplicando un balance de materia a una sección de sedimentador situada por debajo de la alimentación se obtiene que,

$$L_0 \cdot C_0 = \left(v + \frac{L_n}{A} \right) \cdot A \cdot C \quad \text{Ec. 4}$$

donde v es la velocidad de sedimentación en la superficie A , L_n/A es la velocidad de arrastre (todo el líquido que abandona A sale con el lodo), y $(v+L_n/A)$ es la velocidad total de caída de las partículas en esta sección. De esta forma, la ecuación de diseño del decantador queda como,

$$A = \frac{L_0 \cdot C_0}{v} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_n} \right) \quad \text{Ec. 5}$$

Una vez hallada el área, A , la altura, h , y la inclinación se obtienen fácilmente de ella. Para usar esta ecuación se debe conocer L_0 , C_0 y C_n , así como la variación de la velocidad de sedimentación con la concentración, $v=f(C)$. Para hallar esta relación de v con C no se pueden usar las ecuaciones deducidas para el movimiento de partículas en el seno de un fluido, ya que existen muchas interacciones entre las partículas que modifican el valor de la velocidad de sedimentación. Dicha relación, $v=f(C)$, se determina experimentalmente para cada suspensión.

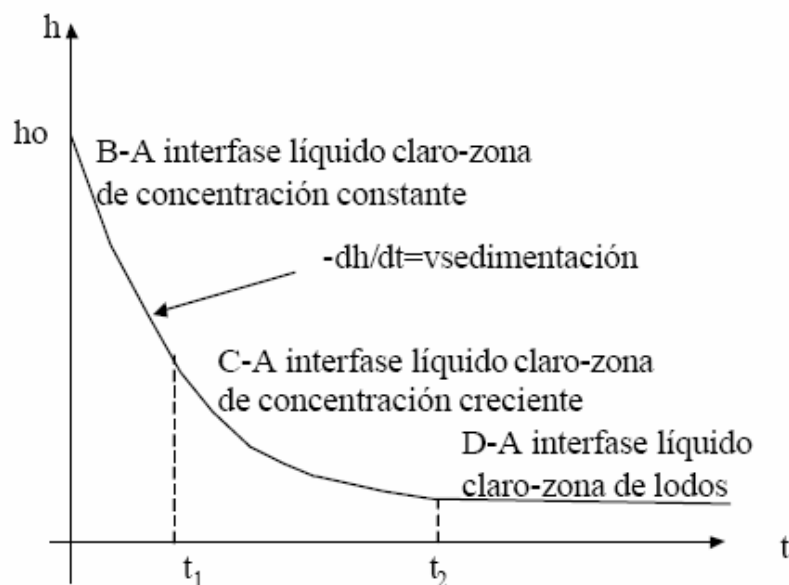


Fig. 8. Representación de las fases de sedimentación por zonas en un ensayo de laboratorio.

Se determinan parejas de valores de altura en función del tiempo, y con ellos se determina la velocidad de sedimentación.

$$v = \left(\frac{dh}{dt} \right)_{t=0} \quad \text{Ec. 6}$$

Si se utiliza el método de Kynch-Robert que se basa en que todas las concentraciones desde C_0 a C_n y mayores se originan en la base de la probeta, y todas ellas en tiempos más próximos a $t=0$ que en otro lugar cualquiera. Con un balance de materia sólida a la probeta se obtiene que,

$$h_0 \cdot A \cdot C_0 = \left(v + \frac{h}{t} \right) \cdot A \cdot C \cdot t \quad \text{Ec. 7}$$

$$h = -v \cdot t + \frac{h_0 \cdot C_0}{C} \quad \text{Ec. 8}$$

y con la ecuación 8, que es una recta en el diagrama h vs t , se obtiene la velocidad de sedimentación de la partícula.

Para terminar, con la ecuación 5 se determina el área del sedimentador. Normalmente este método es aplicable para pulpas que no forman flóculos o para aquellos sólidos en los que las características iónicas de la solución dan lugar a estructuras floculares.

3.3.2.- Método de Talmage-Fitch.

Para el caso de uso de polímeros que forman flóculos, el tamaño de estos será dependiente de la concentración de la alimentación, debiéndose utilizar el método de Talmage-Fitch.

La capacidad de decantación del sistema puede estimarse a partir de la velocidad inicial de decantación de la interfase. La carga superficial requerida para la clarificación debe ser menor que la decantación de la suspensión. Así, el área requerida para la clarificación (A_c) puede calcularse del modo siguiente:

$$A_c = \frac{Q_c}{v_s} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde

Q_c : caudal de agua clarificada, $m^3/\text{día}$.

v_s : velocidad de sedimentación para la decantación frenada, m/s .

La velocidad de sedimentación para la decantación frenada puede alcanzarse a partir de la pendiente de la zona de decantación frenada de la altura de interfase frente al tiempo. El caudal de agua clarificado se puede estimar mediante la ecuación:

$$Q_c = Q \cdot \left(\frac{H_0 - H_c}{H_0} \right) \quad \text{Ec.10}$$

Donde

Q: caudal que pasa al tanque, m³/día.

H₀: altura correspondiente a la concentración inicial, cm.

H_c: altura correspondiente a la concentración crítica C_c, cm.

Talmadge y Fitch, han indicado que la capacidad de espesamiento puede determinarse por consideración de las características de sedimentación en un experimento discontinuo para las suspensiones espesas (concentradas). Se ha indicado que se obtiene un espesamiento adecuado, cuando el área se calcula según la ecuación siguiente:

$$A_e = \frac{Q \cdot t_u}{H_0} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde

A_e: área requerida para el espesamiento, m².

t_u: tiempo requerido para alcanzar una concentración de fangos deseada (C_u), días.

La concentración de fangos deseada, C_u, se puede determinar mediante ensayos discontinuos de decantación. Existe una concentración crítica que nos dará un área requerida máxima. Esta concentración crítica debe ser la base para el diseño del decantador. Una estimación de esta concentración crítica puede obtenerse por medio de la bisectriz del ángulo formado por las tangentes a la zona de decantación frenada y a la de compresión correspondiente a la curva altura de la interfase en función del tiempo. La intersección de la bisectriz con la curva correspondiente al punto crítico, en el cual la concentración es la concentración crítica, C_c. El valor de t_u se obtiene por intersección de la línea horizontal trazada desde la altura H_u con la línea tangente a la curva en el

punto crítico. H_u , corresponde a la concentración deseada de fangos C_u y se puede obtener a partir de la ecuación del balance de materia siguiente:

$$C_0 H_0 = C_c H_c = C_u H_u \quad \text{Ec.12}$$

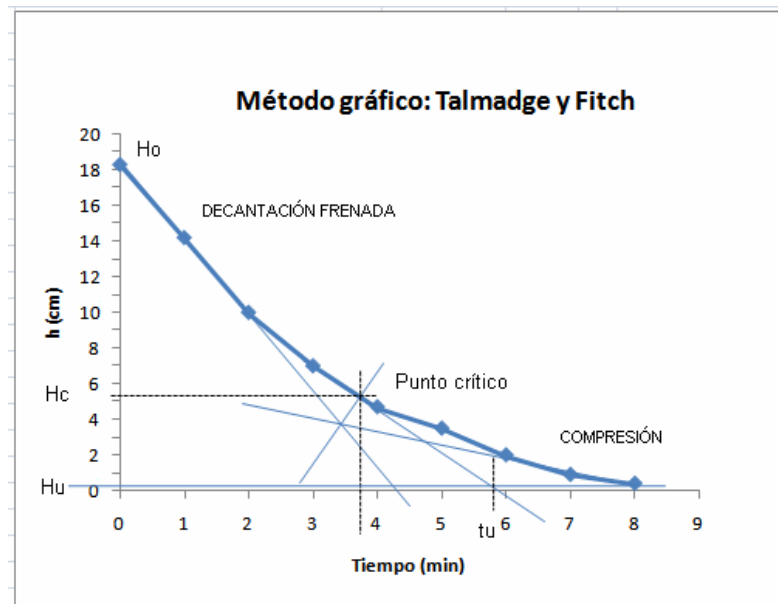


Fig. 9. Aplicación del método gráfico de Talmadge-Fitch.

Se compara el área necesaria para la clarificación y la requerida para el espesamiento y se coge para el diseño la mayor de ambas. Algunos autores aplican para el cálculo de las áreas del clarificador y espesador un factor de escala. El recomendado para este caso es 1,5 para A_c y 2 para A_e .

3.3.3.- Comparación de ambos métodos. Resultados.

A continuación se muestra una tabla con los parámetros relativos a la suspensión y al floculante:

Parámetros físicos de la suspensión	
Q suspensión	6.666,67 m ³ /día
Cb	0,50 g/L
Densidad suspensión	1.000,00 kg/m ³
Caudal másico	6.666.666,67 kg/día
Características floculante	
Nombre	ACTIPOL EM1
Tipo	polímero catiónico
Concentración floculante	7,25 mg/L
%Recuperación por floculantes	90
Factor de concentración	45,75

Tabla 1. Parámetros de la suspensión y del agente floculante.

DETERMINACIÓN DEL ÁREA DEL DECANTADOR: MÉTODO KINCH-ROBERT:	
Parámetros decantación	
Velocidad sedimentación (Kinch-Robert)	0,00036 m/s
Factor de escalamiento	1,20
Decantador	
Área teórica	107,70 m ²
Área total	129,24 m ²
Diámetro decantador	12,83 m
Diámetro real decantador	13,00 m/unidad
Nº decantadores	1,00
Área final	132,73 m ²

DETERMINACIÓN DEL ÁREA DEL DECANTADOR POR EL MÉTODO DE FITCH:	
Valores gráficos experimentales	
V sedimentación (decantación frenada)	4,15 cm/min
Co	0,80 g/L
Ho	18,30 cm
Hc	5,20 cm
Hu	0,40 cm
tu	5,80 min
Decantador	
Qc	4772,31 m ³ /día
Ac	79,85
Ae	146,73
Factor de escalamiento Ac	1,50
Factor de escalamiento Ae	2,00
Ac escalada	119,78 m ²
Ae escalada	293,46 m ²
Diámetro decantador	19,33 m
Diámetro real decantador	20,00 m
Nº decantadores	1,00
Área final	314,16 m ²

Tabla 2. Datos de la determinación del área del decantador por ambos métodos.

Comparando ambos métodos de obtención de área del decantador, el más conservativo es el obtenido por Talmadge y Fitch. Por lo que el área final es de 314 m².

Características del decantador seleccionado	
velocidad periférica mecanismo arrastre	8,00 m/min
Ángulo fondo	10 °
D decantador	20,00 m/unidad
t compresión	1 h
Nº decantadores	1,00 m/unidad
Área final	314,16 m ² /unidad
Altura zona compresión	0,88 m
Altura zona clarificación	3,00 m
ángulo	0,17 rad
hipot	10,15
R	10,00
cos	0,98
sen	0,17
altura fondo	1,76 m
Profundidad del decantador	5,65 m
Volumen decantador	1.774,20 m ³

Tabla 3. Características del decantador seleccionado.

Los efluentes de entrada y salida al decantador presentan las siguientes características:

	Suspensión	Clarificado	Lodo
Caudal, m ³ /día	6.667	6.536	131,15
ρ , kg/m ³	1.000	1.000	1.010
μ , kg/m.s	0,001	0,001	0,002
Cb, g/L	0,5	0,05	22,88
Masa sólidos, kg/día	3.333	333	3.000

4.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- Ingeniería Química. Autores: J.M. Coulson, J.F. Richardson. Editorial: Reverté, 1979.
- Manual de prácticas de operaciones básicas de Ingeniería Química de la Universidad de Almería. 2001.
- Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación. Autores: M.I. Aguilar, J. Sáez, et al. Universidad de Murcia. 2002.
- Manual del Ingeniero Químico. Autor: Perry. Editorial: McGraw – Hill.

ANEJO 5:
CENTRIFUGACIÓN

ÍNDICE

1.- FUNDAMENTO	2
1.1.- Movimiento de partículas en campo centrífugo	2
1.2.- Clarificación centrífuga.	3
1.3.- Cálculo de v_g y Σ	5
2.- DECANTADORA DE CÁMARA Y TORNILLO.....	6
3.- BIBLIOGRAFÍA.....	7

1.- FUNDAMENTO

La centrifugación es una operación básica de separación de sustancias por medio de la fuerza centrífuga. Tiene aplicación en la separación de líquidos inmiscibles, en la clarificación con sólidos en suspensión, en la separación de lodos, filtración centrífuga y separaciones gas-sólido (ciclones).

1.1.- Movimiento de partículas en campo centrífugo

En la caída libre de partículas, en el campo gravitatorio, cuando se alcanza el estado estacionario se cumple:

$$F. \text{ de gravedad } (F_c) - F. \text{ de flotación } (F_f) = F. \text{ de rozamiento } (F_r) \quad \text{Ec. 1}$$

Si una partícula se somete a la acción de una fuerza centrífuga, la fuerza de la gravedad es despreciable frente a ésta y el balance de fuerzas queda:

$$F. \text{ centrífuga } (F_c) - F. \text{ de flotación } (F_f) = F. \text{ de rozamiento } (F_r) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$$F_c = m \cdot a_c = m \cdot \frac{v_c^2}{r} = \frac{\pi}{6} \cdot dp^3 \cdot \rho_p \cdot \frac{v_c^2}{r} \quad \text{Ec. 3}$$

$$F_f = \frac{\pi}{6} \cdot dp^3 \cdot \rho \cdot \frac{v_c^2}{r} \quad \text{Ec. 4}$$

$$F_r = \Phi(\text{Re}_p) \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 = f(\text{Re}_p) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot dp^2 \cdot \rho \cdot v^2 \quad \text{Ec. 5}$$

$$F_c - F_f = \frac{\pi}{6} \cdot dp^3 \cdot \frac{v_c^2}{r} (\rho_p - \rho) = F_r \quad \text{Ec. 6}$$

A: área de la partícula normal a la dirección del movimiento (se ha asimilado a una esfera de diámetro dp).

Igualando las ecuaciones 5 y 6, y haciendo $v=v_t$ (constante en estado estacionario) se obtiene:

$$\frac{\pi}{6} \cdot dp^3 \cdot \frac{v_c^2}{r} \cdot (\rho_p - \rho) = f(\text{Re}_p) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot dp^2 \cdot \rho \cdot v_t^2 \quad \text{Ec. 7}$$

Y teniendo en cuenta que $v_c = \omega \cdot r$ Ec. 8

$$v_t = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega^2 \cdot r \cdot dp \cdot (\rho_p - \rho)}{3 \cdot \rho \cdot C_D}} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde $C_D = 2 \cdot \Phi(\text{Re})$ es el coeficiente de rozamiento o arrastre Ec. 10

Como normalmente el diámetro de la partícula es muy pequeño, el flujo será laminar y la velocidad límite en un campo de fuerzas centrífugas se obtiene mediante la ley de Stokes:

$$v_t = \frac{\omega^2 \cdot r \cdot dp^2 \cdot (\rho_p - \rho)}{18 \cdot \mu} \quad \text{Ec. 11}$$

1.2.- Clarificación centrífuga.

Una partícula de diámetro dp se moverá radialmente a una velocidad dada por la Ec. 11. El tiempo necesario para que una partícula recorra una distancia radial dr es:

$$dt = \frac{dr}{v_t} = \frac{18 \cdot \mu}{\omega^2 \cdot (\rho_p - \rho) \cdot dp^2} \cdot \frac{dr}{r} \quad \text{Ec. 12}$$

Supóngase que la mitad de todas las partículas presentes en el líquido de entrada con un diámetro particular d_{pc} son separadas durante su paso por la cámara (la mayor parte de las partículas de tamaño mayor de d_{pc} serán separadas del líquido, mientras que la mayoría de tamaño inferior permanecerá en el líquido). Así, d_{pc} es el diámetro crítico o punto de corte.

Al entrar la suspensión en la centrífuga las partículas se distribuyen uniformemente en la sección transversal del anillo de líquido en la base de la cámara y fluyen hacia arriba con la misma velocidad hasta el punto de descarga. Todas las partículas de diámetro d_{pc} contenidas en la mitad exterior del área transversal del anillo de líquido llegan a la pared de la cámara y se

separan del líquido. La distancia máxima que una partícula ha de recorrer en esta zona para llegar a la pared de la cámara es:

$$a = R_2 - (R_1 + b) \quad \text{Ec. 13}$$

Donde b es la distancia desde el anillo interior hasta el anillo que divide la cámara en dos secciones iguales.

$$\text{Si } A_1 = A_2 : R_1 + b = \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}} \quad \text{Ec. 14}$$

$$\text{Así: } a = R_2 - \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}} \quad \text{Ec. 15}$$

El tiempo necesario para que una partícula de diámetro d_{pc} se desplace esta distancia "a" se obtiene integrando la Ec. 12 entre R_2 y R_1+b :

$$t = \frac{18 \cdot \mu}{\omega^2 \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_{pc}^2} \cdot \ln \left[\frac{R_2}{\sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}}} \right] \quad \text{Ec. 16}$$

El tiempo de permanencia de una partícula en la cámara es V/q , siendo V el volumen de líquido retenido en la cámara en cualquier momento y q es caudal volumétrico de líquido a través de la cámara. Para que la partícula de diámetro d_{pc} se separe, el tiempo que tarda en llegar a la pared debe ser igual al mínimo que permanece en la centrífuga, y se cumplirá:

$$\frac{V}{q} = \frac{18 \cdot \mu}{\omega^2 \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_{pc}^2} \cdot \ln \left[\frac{R_2}{\sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}}} \right] \quad \text{Ec. 17}$$

Ecuación que se puede escribir de la forma:

$$q = \underbrace{\left[\frac{g \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_{pc}^2}{18 \cdot \mu} \right]}_{v_g} \cdot \left[\frac{\omega^2 \cdot V}{g \cdot n \cdot \underbrace{\left[\frac{R_2}{\sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}}}} \right]} \right]_{\Sigma} \quad \text{Ec. 18}$$

$$q = v_g \cdot \Sigma \cdot \eta \quad \text{Ec. 19}$$

Donde v_g es la velocidad de sedimentación de la partícula de diámetro crítico en un campo gravitatorio y Σ se denomina característica de la centrífuga, y es equivalente al área de un tanque de sedimentación por gravedad con características de sedimentación similares a las de la centrífuga (que separa todas las partículas de diámetro crítico d_{pc}), y η es la eficiencia de la separación.

1.3.- Cálculo de v_g y Σ .

El valor de v_g se ha determinado experimentalmente en laboratorio para la microalga elegida. Conocido el caudal de salida del decantador, que es el que separa una corriente clara libre de células, que se retira del sistema, y un lodo de microalgas que es el que se trata en la centrífuga, con ayuda de las ecuaciones anteriores se va a determinar el valor de la característica de la centrífuga (Σ).

Parámetros de la centrifugación	
Q suspensión	131,15 m ³ /día
ρ suspensión	1010,00 kg/m ³
μ suspensión	0,002 kg/m.s
Q másico suspensión	132459,02 kg/m ³
V_g	6,92E-04 m/s
Eficiencia separación	0,65
C_b suspensión	22,88 g/L
Factor de concentración	9,00

Tabla 1. Parámetros de la centrifugación.

Con los parámetros anteriores y la Ec. 19, se obtiene un área equivalente (Σ) de 3,7 m². A continuación se muestra una tabla con las características de entrada y salida de efluentes de la centrifuga al cabo del día, así como los valores más relevantes:

	Suspensión	Clarificado	Centrifugado
Volumen, m ³	131,15	116,58	14,57
ρ , kg/m ³	1.010	1.000	1.025
μ , kg/m.s	0,002	0,001	0,003
Cb, g/L	22,88		205,88
Masa sólidos, kg	3.000		3.000

Tabla 2. Balance de las corrientes de la centrifuga.

2.- DECANTADORA DE CÁMARA Y TORNILLO.

En este tipo de centrifugas se caracterizan por un tambor horizontal con una sección cilíndrica y una sección cónica, con una relación de longitud /diámetro entre 1,5 – 3,5. Las velocidades de rotación son de 4.000 a 10.000 g por lo que los campos centrífugos son menores que los de los otros equipos.

En las centrifugas decantadoras se distinguen tres zonas de interés:

Alimentación: la suspensión es introducida a través de perforaciones por un tubo axial concéntrico y es conducido a la zona de alimentación del tornillo sin fin, hasta el final de la sección cónica o de compresión de sólidos. Desde aquí la suspensión es acelerada suavemente, en dirección circunferencial, y se dirige hacia el tambor centrífugo a través de las puertas de distribución.

Tambor: Tiene una forma cónica y cilíndrica y gira a una velocidad entre 5-100 rpm. Contiene un tornillo transportador que gira en la misma dirección, pero a una velocidad ligeramente inferior que el tambor. La suspensión alcanza la velocidad completa formando una capa concéntrica en la pared por efecto de la fuerza centrífuga. La longitud del tambor cilíndrico, así como el ángulo de la parte cónica, puede ser seleccionados y adaptados de acuerdo a los requerimientos específicos de cualquier aplicación. Los diámetros pueden variar de 15 a 140 cm. Los sólidos que se depositan en la pared del tambor son transportados y descargados continuamente por el extremo cónico de la centrifuga, donde escurren antes de salir. El líquido claro se obtiene por rebosamiento en el extremo opuesto a través de orificios de descarga que fijan el nivel del líquido en la centrifuga.

Tornillo sinfín: Este gira a una velocidad relativamente menor que el tambor, para permitir el transporte y descarga de los sólidos depositados en la pared de la centrifuga. La velocidad diferencial determina el tiempo de residencia de los sólidos en el tambor.

La característica de una centrifuga decantadora de cámara y tornillo es la siguiente:

$$\Sigma = \frac{w^2 \cdot \pi}{g} \left[L_1 \left(\frac{3}{2} r_2^2 + \frac{1}{2} r_1^2 \right) + L_2 \left(\frac{1}{4} r_2^2 + \frac{3}{4} r_1 r_2 + r_1^2 \right) \right] \quad \text{Ec. 20}$$

donde:

w: velocidad angular, rpm

g: aceleración de la gravedad, m/s².

L₁: longitud de la sección cilíndrica, m.

L₂: longitud de la sección cónica, m.

r₁: distancia desde el eje de rotación hasta la superficie del liquido, m.

r₂: distancia desde el eje de rotación hasta la pared de la cámara, m.

3.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- Bioseparations engineering. Principles, Practice, and Economics". Michael R. Ladisch. Purdue University. Wiley-Interscience. 2001.
- "Biotecnología para ingenieros. Sistemas biológicos en procesos tecnológicos". Alan Scrag. Editorial Limusa, S.A. 1ª edición, 1996.
- "Procesos de transporte y operaciones unitarias". Christie J. Geankoplis. CECSA. 3ª edición, 1998.
- "Perry's Chemical engineers' Handbook". Robert H. Perry, Don W. Green. McGraw-Hill. 7th Edition, 1999.

ANEJO 6:

ACONDICIONAMIENTO

DEL MEDIO

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- ACONDICIONAMIENTO DEL MEDIO.....	2
2.1.- Preparación del medio.	2
2.2.- Esterilización del medio.	6
2.2.1.- Luz ultravioleta.....	7
2.2.2.- Efectividad de la luz ultravioleta.....	8
2.2.3.- Lámparas ultravioleta.	8
2.2.4.- Cámaras de exposición.	9
2.2.5.- Selección y tamaño del sistema de desinfección UV.....	10
2.2.6.- Sistemas de desinfección en canales abiertos.	10
2.2.7.- Sistemas de desinfección en canales cerrados.....	11
2.2.8.- Operación y mantenimiento.....	13
2.2.9.- Diseño del sistema de UV.	13
3.- BIBLIOGRAFÍA.....	15

1.- INTRODUCCIÓN.

El medio de cultivo representa uno de los puntos clave para la producción de biomasa microalgal. Uno de los mayores costos asociados a la producción de microalgas es la disponibilidad de nutrientes inorgánicos en grandes cantidades y bajo precio, especialmente nitrógeno y fósforo en formas solubles asimilables.

En la producción comercial de microalgas se suelen utilizar recetas de medio con exceso de nutrientes para evitar la limitación del crecimiento de las algas por causa de éstos, pero esto lleva asociado un mayor gasto económico. En este caso se utilizarán aguas residuales provenientes de la E.D.A.R. del Toyo. Dado que en este proyecto se persigue la producción de biomasa como fuente de energía solo se pueden considerar las metodologías de preparación de medio que supongan un menor consumo. Sin embargo, el agua residual depurada presenta una composición química no estable, con variaciones en el contenido de los nutrientes principales requeridos por las microalgas como son el nitrógeno y el fósforo. No solo hay cambios en su concentración absoluta, sino también en la relativa, lo que puede poner en peligro la viabilidad de los cultivo en determinadas circunstancias. Para prevenir esto se va a instalar un equipo de fertirrigación que continuamente esté monitorizando la composición del agua residual de entrada y en base a límites críticos predefinidos le aporte cantidades suficientes de nutrientes en forma de fertilizantes.

En cuanto al grado de esterilidad del agua residual, al igual que en el caso de la composición química, el agua residual depurada puede presentar oscilaciones notables en cuanto a la carga de microorganismos presentes y la tipología de los mismos. Estos microorganismos pueden provocar daños a los cultivos y para evitarlo se va a instalar un equipo de esterilización del agua por UV.

2.- ACONDICIONAMIENTO DEL MEDIO

2.1.- Preparación del medio.

La relación N:P óptima para el crecimiento de microalgas es 16 (7,3 g de nitrógeno/1 g de fósforo), de forma que valores superiores (p.e. 30:1) señalan

limitación de fósforo mientras que valores bajos (p.e. 5:1) provocan limitación por nitrógeno (Darley, 1982). No solo la relación sino también la concentración es importante, o mejor dicho la cantidad total disponible. Así, las microalgas como en general los microorganismos son capaces de asimilar bajas concentraciones de nutrientes presentes en el medio pero si necesitan una cantidad total equivalente a la biomasa producida y su composición elemental. La tabla siguiente muestra la composición elemental típica de microorganismos, incluyendo a las microalgas:

<i>Componente</i>	<i>Porcentaje en peso</i>	<i>Componente</i>	<i>Porcentaje en peso</i>
Proteína	50 - 60	Carbono	46 - 52
Carbohidrato	6 - 15	Oxígeno	18 - 22
Lípido	5 - 10	Nitrógeno	10 - 14
Acido nucleico	15 - 25	Hidrógeno	7 - 9
Cenizas	4 - 10	Fósforo	2 - 3
		Azufre	0.2 - 1
		Potasio	1.0 - 4.5
		Magnesio	0.1 - 0.5
		Sodio	0.5 - 1.0
		Calcio	0.01 - 1.1
		Hierro	0.02 - 0.2
		Cobre	0.01 - 0.02
		Manganeso	0.001 - 0.01
		Cloro	< 0.5

Tabla 1. Composición típica de componentes orgánicos e inorgánicos en un microorganismo.

Considerando un valor de contenido en nitrógeno de la biomasa del 10% es posible calcular la cantidad de nitrógeno requerida en función de la productividad de biomasa que se desee alcanzar. Dicha cantidad de nitrógeno debe ser aportada por la entrada de medio. El medio de cultivo que se va a utilizar es agua residual depurada. Un ejemplo del contenido en nutrientes del agua residual se establece a continuación:

ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DEL TOYO			
pH		8,22	
C.E. (mmhos/cm a 25 °C)		2,75	
	mg/l	meq/l	mmol/l
Carbonatos	0,00	0,00	0,00
Bicarbonatos	719,99	11,80	11,80
Sulfatos	114,03	2,38	1,19
Nitratos	0,00	0,00	0,00
Cloruros	383,76	10,81	10,81
Sodio	238,00	10,23	10,23
Potasio	280,00	7,28	7,28
Calcio	64,00	3,20	1,60
Magnesio	50,00	4,10	2,05
Fosforo	12,17	0,39	0,39
Amonio	68,80	3,60	3,60
Boro(B)	0,57		

Tabla 2. Análisis del agua residual del Toyo (Almería).

Según el análisis, el agua residual presenta como fuente de nitrógeno principal amonio. Muchas especies de microlagas pueden llegar a no tolerar cierto niveles de amonio, pero ensayos previos en laboratorio confirman que tanto las especies de *Chlorella* como *Scenedesmus* no presentan ningún problema de inhibición o desarrollo, llegando a observar que existe un aumento considerable en la velocidad de crecimiento de los cultivos. Por esta razón este recurso hídrico, en este caso, es bastante interesante. Según lo establecido anteriormente, se cumple lo siguiente:

equivalencia:	1g biomasa	0,1 g nitrógeno
relación N:P	7,3 g nitrógeno	1 g fósforo
Cálculo de nutrientes para alcanzar la producción:		
requerimiento de N	50,00	mg/L
requerimiento de P	6,85	mg/L
Caudal medio	6.666,67	m ³ /día
Cb	0,50	g/L
Producción biomasa	3333,33	kg/día
nitrógeno requerido	333,33	kg/día
fósforo requerido	45,66	kg/día
Aporta el agua residual		
nitrógeno	336,00	kg/día
fósforo	8,131	kg/día
Sulfatos	760,20	kg/día

Tabla 3. Requerimiento de nutrientes esenciales.

Según la tabla 3, sólo con el aporte de agua residual se tienen suficientes nutrientes para alcanzar el objetivo marcado de 1.000 Tn/año de biomasa. En el caso de variación química del agua, se van a establecer límites por defecto de nitrógeno o fósforo, de manera que si es necesario se activará el cabezal de riego y reconstituirá el medio en nitrógeno o fósforo, en la proporción requerida. Esta medida se realizará en función de la conductividad química del agua residual, que se contrastará con un análisis químico para determinar la variabilidad de la conductividad, y si se confirma el defecto en nitrógeno o fósforo se dará paso a la actuación del cabezal de riego.

Poner de manifiesto que el agua residual de la planta de aguas residuales EDAR El Toyo, cederá el agua depurada y que ésta se recogerá en una balsa para su utilización en la planta de microalgas. El diseño de la balsa de recogida del agua se detalla en el anejo nº 7 “Diseño de tanques del proceso”.

Los fertilizantes a utilizar serían: nitrato sódico, para satisfacer la demanda de nitrógeno; y fosfato monopotásico para el fósforo.

Nutrientes necesarios si el agua residual no contiene nitrógeno ni fósforo:	
nitrato sódico	2.024 kg/día
nitrato sódico	81 sacos/día
Fosfato monopotásico	200 kg/día
Fosfato monopotásico	9 sacos/día

Tabla 4. Fertilizantes necesarios en caso de no disponer de nutrientes el agua residual.

Para disponer el cabezal de riego, serán necesarios dos tanques para cada uno de los fertilizantes, para prevenir problemas de precipitación. En ellos la concentración de fertilizante será de 100 g/L. El dimensionado de ambos tanques se detalla en el anejo nº 7 “Diseño de tanques del proceso”. El cabezal de riego estará dimensionado para cubrir la necesidad de nutrientes en caso de que el agua contenga la proporción adecuada.

Cabezal de riego	
Q fotobioreactor	6666,67 m ³ /día
t _{operación}	8,00 h
Q fotobioreactor	833,33 m ³ /h
Concentración de nutrientes	100,00 g/L
Concentración N tanque	1,18 mol/L
Concentración N medio	3,57 mmol/L
caudal nutrientes	2,53 m ³ /h

Tabla 5. Características del cabezal.

2.2.- Esterilización del medio.

Para controlar la carga microbiana del medio se va a instalar un sistema de radiación UV. La luz ultravioleta (UV) es una alternativa de desinfección al uso del cloro y ozono en muchas aplicaciones de tratamiento de aguas potables y residuales. UV provee desinfección efectiva sin producción de subproductos de desinfección problemáticos. En la desinfección por rayos ultravioleta, se produce un proceso físico que provoca cambios fotoquímicos en los componentes de la célula dañando la molécula del ADN de tal forma que impide la división celular y causa la muerte de las bacterias, impidiéndoles su reproducción. Este proceso en comparación con otros métodos es bastante bueno. A continuación se expone un cuadro comparativo entre distintos métodos de desinfección de aguas residuales, comprobándose que es la mejor de las alternativas.



Fig. 1. Cuadro comparativo de los UVA con otros métodos de desinfección.

Los componentes principales de un sistema de desinfección con radiación UV son: lámparas ultravioleta, arrancador, balastos y cámaras de exposición.

2.2.1.- Luz ultravioleta.

De acuerdo a la longitud de onda la luz ultravioleta se puede clasificar en: onda corta (UV-A), onda media (UV-B) y onda corta (UV-C). La porción germicida de la radiación ultravioleta es aquella con longitud de onda entre 220 y 260nm, la cual se encuentra en su totalidad dentro del rango del UV-C. La razón por la cual en esta porción se encuentra el rango germicida es porque, aproximadamente a 260 nm, el ADN tiene una mayor absorción de UV, y por lo tanto es más susceptible de ser alterado.

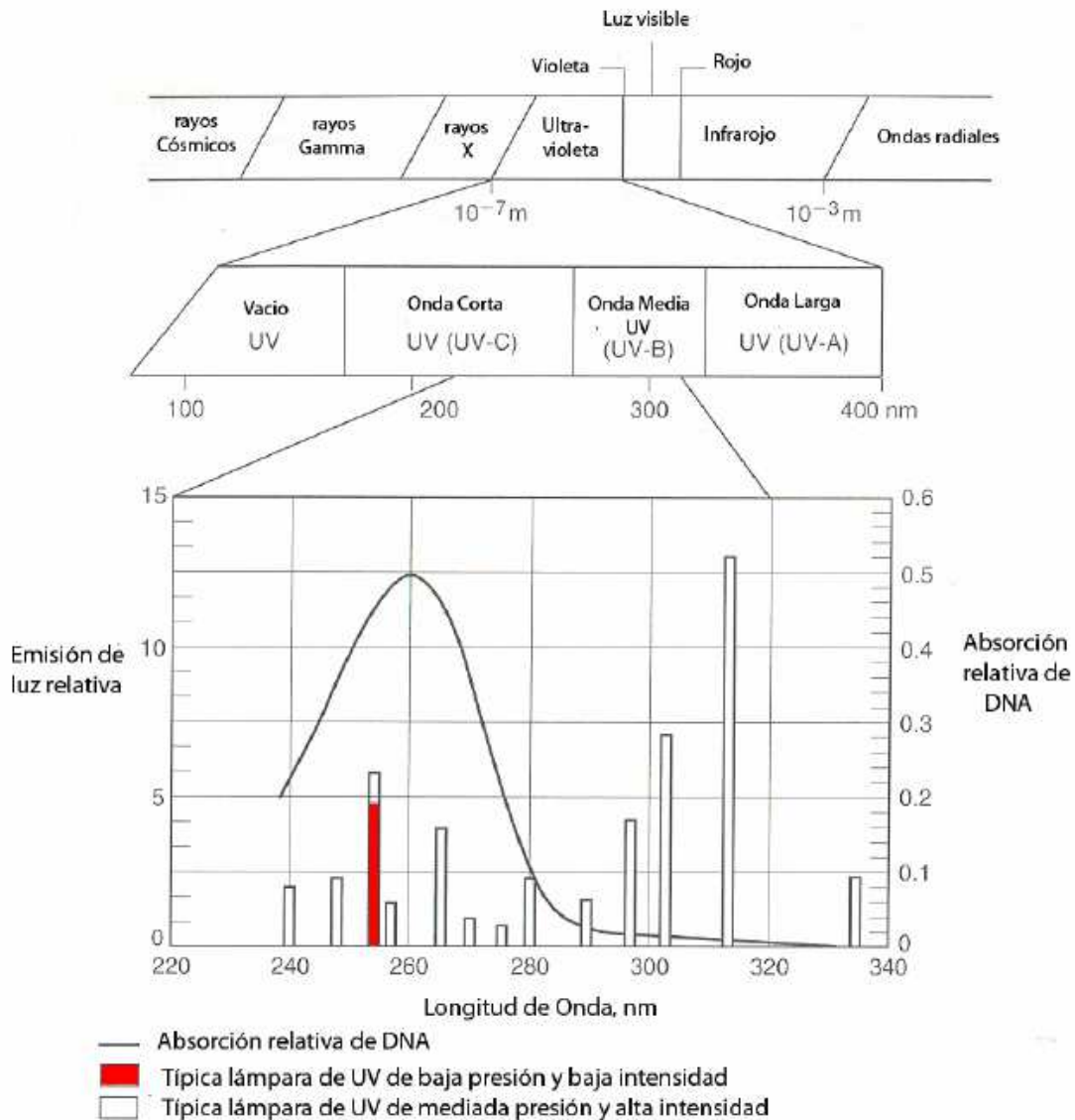


Fig. 2. Espectro electromagnético.

2.2.2.- Efectividad de la luz ultravioleta.

La luz UV es un agente físico. Penetra a través de la pared celular de los microorganismos y es absorbida por los materiales celulares, incluido el ADN y ARN, lo cual puede impedir la reproducción o producir la muerte directamente del microorganismo. Debido a que solo es efectiva por contacto, la turbidez de la suspensión afecta en gran medida, llegando a bajar considerablemente el rendimiento de la UV. Por esto es muy importante que el agua a tratar tenga la menor cantidad de sólidos en suspensión.

2.2.3.- Lámparas ultravioleta.

La luz ultravioleta puede producirse con lámparas de mercurio, las cuales se asemejan a las lámparas fluorescentes. El mecanismo que usan es sencillo: dentro de la lámpara que es un tubo de cuarzo o sílice, un arco eléctrico golpea una mezcla de vapor de mercurio y argón que hay en el interior. Cuando una corriente eléctrica golpea la mezcla, el argón no participa, ya que su función es solo ayudar a arrancar la lámpara, extender la vida del electrodo y reducir las pérdidas, pero las moléculas del mercurio se excitan y cuando los electrones de las orbitas externas descienden a orbitas de menor nivel energético, emiten la energía sobrante en forma de radiación ultravioleta. Las lámparas mas utilizadas en la desinfección con UV son las de baja y media presión.

- a) Lámparas UV de baja presión: generan radiación monocromática con longitud de onda de 254 nm, la más efectiva para la inactivación de microorganismos. Estas lámparas tienen un diseño delgado con una longitud total de 0,75-1,50 m y un diámetro que puede variar entre 15-40mm. Operan a óptimamente a una temperatura de 40 °C y una presión interna de 0,007 mm de Hg. El rendimiento esta comprendido entre 25 y 27 W a 254 nm con un poder de entrada de 70 a 80 W. Aproximadamente 85 a 88% del rendimiento de las lámparas es monocromático a 254 nm, haciendo así una elección eficiente para el proceso de desinfección. La vida útil está entre 9000 y 14000 horas dependiendo del número de ciclos/día. La vida útil de las celdas de cuarzo es de 4-8 años.

- b) Lámparas UV de presión media: operan a temperaturas y presiones mayores ($600-800\text{ }^{\circ}\text{C}$; $10^2-10^4\text{ mm de Hg}$) y generan radiación policromática. Solo el 27-44 % del total de la energía irradiada tiene una longitud de onda comprendida en el rango germicida de 254 nm, y solo del 7 al 15% esta cerca de los 254 nm. Sin embargo generan aproximadamente de 50-100 veces el total del rendimiento de una lámpara de baja presión.

2.2.4.- Cámaras de exposición.

Hay dos tipos básicos de cámaras de exposición:

1. Cámaras de lámparas sumergidas en el agua: deben poseer un espacio aislado donde se ubica la lámpara. Esto se consigue rodeando la lámpara con una camisa de cuarzo.

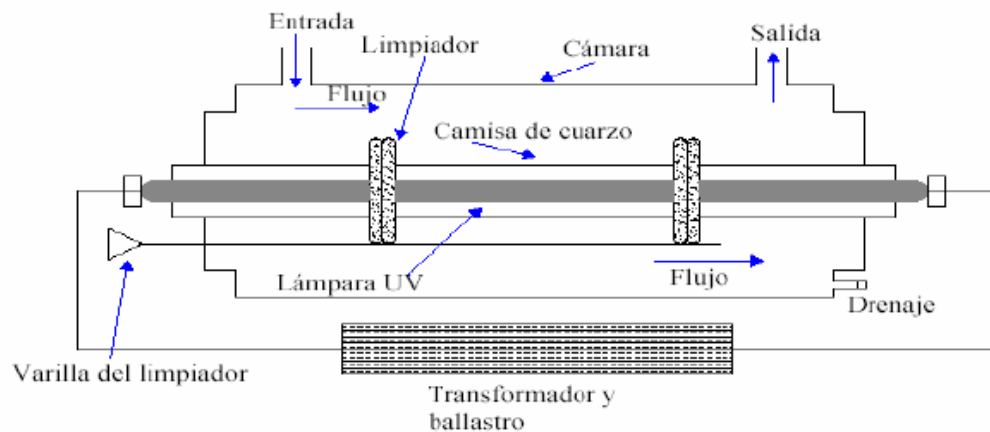


Fig. 3. Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara sumergida.

2. Cámaras de lámparas fuera del agua: las lámparas están suspendidas sobre una lámina de agua por desinfectar, en forma casi rasante.

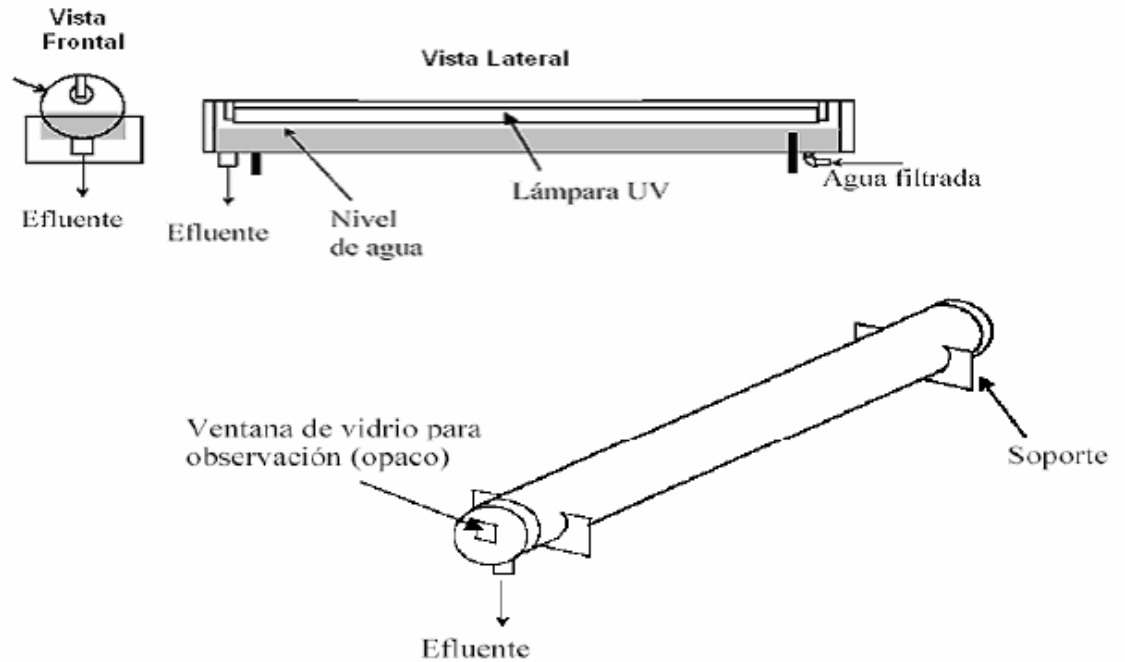


Fig. 4. Instalación típica de un equipote radiación UV con lámpara fuera del agua.

2.2.5.- Selección y tamaño del sistema de desinfección UV.

La aplicación de UV como desinfectante de agua, a mayor escala requiere la consideración de varios factores. Uno de estos factores importantes es la selección y determinación del número mínimo de lámparas UV necesarias.

Esta selección se ve afectada por:

- 1) Flujo volumétrico,
- 2) Envejecimiento y características de la lámpara de mercurio,
- 3) Calidad del agua,
- 4) La naturaleza de la descarga permitida.

Una vez determinado el número de lámparas, se debe decidir si estas se colocan en forma paralela o transversal a la dirección del flujo. Para ello, el flujo de agua debe de canalizarse a través de canales cerrados o abiertos.

2.2.6.- Sistemas de desinfección en canales abiertos.

En este tipo de canales las lámparas se pueden situar en forma paralela, transversal, vertical u horizontal. Generalmente el flujo es dividido

equitativamente entre el número de canales abierto y cada canal contiene dos o más bancos de lámparas UV en serie. Cada modulo contiene un numero especifico de lámparas UV revestidas por células de cuarzo. El número de lámparas por modulo es de 2, 4, 8, 12 o 16. La configuración mas usada es una separación entre lámparas de 75mm de centro a centro de la misma. Para controlar la altura de flujo en cada canal se emplea una compuerta con controlador automático. Para evitar la acumulación de residuos en las cámaras de cuarzo, las cuales reducen la intensidad de luz, las lámparas deben ser removidas ocasionalmente para ser limpiadas.

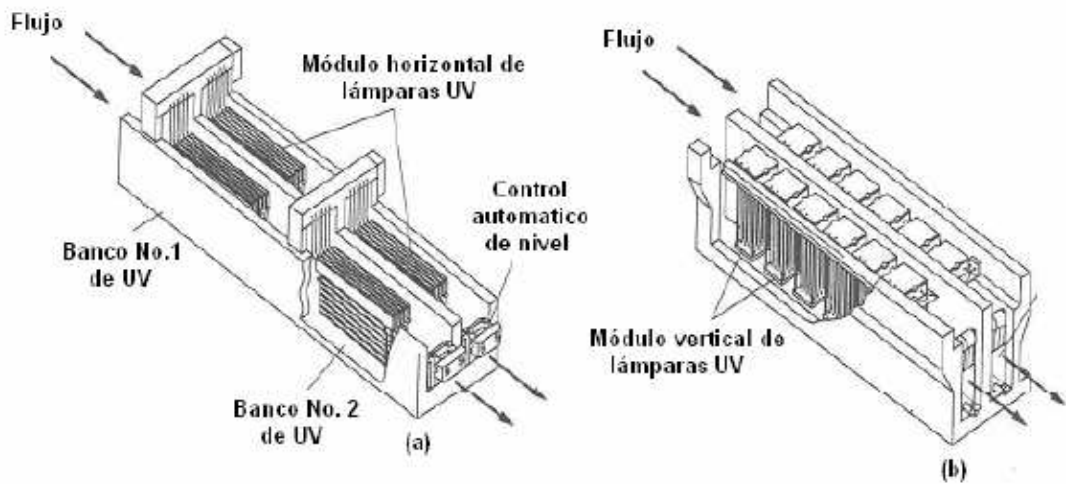


Fig. 5. (a) Sistema de lámparas horizontal, paralelo al flujo; (b) Sistema de lámparas vertical, perpendicular al flujo.

2.2.7.- Sistemas de desinfección en canales cerrados.

Se pueden utilizar igualmente lámparas de baja o media presión. En la mayoría de los diseños, la dirección del flujo es perpendicular a la ubicación de las lámparas, aunque también hay diseños en los que se colocan en paralelo.

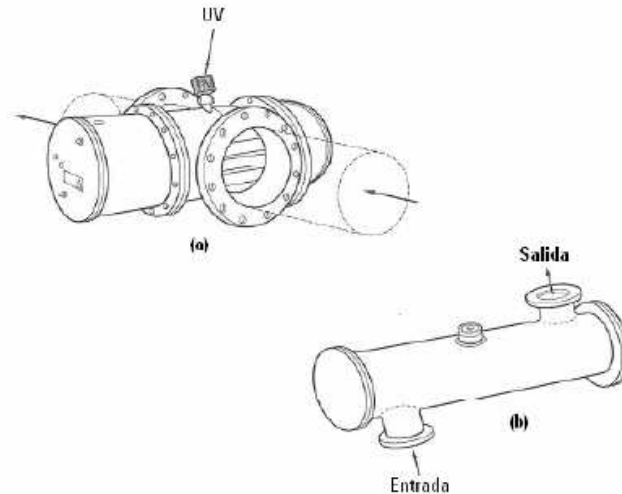


Fig. 6. (a) Vista isométrica del reactor con lámparas perpendicular; (b) Vista isométrica del reactor con lámparas en paralelo.

Los sistemas de desinfección pueden incluir los siguientes componentes:

- Una cámara de exposición de material anticorrosivo, el cual alberga el sistema.
- Lámpara ultravioleta.
- Mecanismo de autolimpieza.
- Sensores conectados a sistemas de alarma para el monitoreo de la intensidad de la luz ultravioleta.
- Interruptor de velocidad en caso de que se presenten velocidades de flujo altas o bajas.
- Monitores de luz apagada.
- Balastras.

Una consideración importante es la de asegurarse que cada microorganismo presente reciba la dosis de luz UV adecuada a su paso la cámara de contacto. Esto se logra determinando el espacio correcto entre las lámparas y las superficies reflectoras del interior de la cámara y agitando adecuadamente el agua cuando pasa por la cámara. Si el flujo es perpendicular, las propias lámparas y camisas pueden producir la turbulencia necesaria para asegurarse que toda el agua quede expuesta a la dosis biocida. Cuando el flujo es paralelo a la longitud de las lámparas, es necesario utilizar mezcladores estáticos (pantallas) para proporcionar la turbulencia necesaria.

2.2.8.- Operación y mantenimiento.

Los requerimientos en cuanto a la operación y mantenimiento son mínimos, pero muy importantes para un rendimiento adecuado. Suelen aparecer depósitos de carbonato cálcico, sedimentos, materiales orgánicos o hierro, que reduciría la penetración y el poder germicida de la luz UV. Es preciso asegurar que las camisas de cuarzo están limpias, libres de sedimentos u otros depósitos que afectan la radiación. En los sistemas pequeños se hace manualmente, limpiando la camisa de cuarzo una vez al mes. Las lámparas se deben cambiar siempre que sea necesario para garantizar la intensidad adecuada. En los sistemas modernos y más grandes están provistos de dispositivos limpiadores que reducen el problema de acumulaciones.

2.2.9.- Diseño del sistema de UV.

Se va a utilizar lámparas de baja presión en canales cerrado y colocadas de forma perpendicular al flujo de agua para mejorar la turbulencia y conseguir una buena desinfección. Se considerarán cámaras con lámparas sumergidas para aprovechar la radiación radial de la lámpara y aumentar el rendimiento del sistema. Los sistemas de luz ultravioleta se colocarán en canales cerrados y acoplados al sistema de tuberías de aguas a la entrada de la planta, para cerciorarnos de que todo el sistema de aguas que entra en la planta está completamente desinfectado y libre de microorganismos patógenos.

2.2.9.1.- La Cinética de Inactivación y dosis UV.

La cinética de inactivación microbiana por UV se define por la ley de Chick:

$$N = N_0 e^{-k \cdot I \cdot t} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde

N_0 : concentración inicial de microorganismos previa a la aplicación de UV,

N : número de microorganismos que restan después de la exposición a la luz UV,

I : intensidad UV, w/cm²

t : tiempo de exposición, s.

k : constante del ritmo de inactivación, cm²/s.w

Reordenando los términos, tenemos:

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -k \cdot I \cdot t \quad \text{Ec 2}$$

El primer término de la ecuación 2 representa el grado de inactivación de los microorganismos.

La dosis UV se define como el producto de la intensidad UV y tiempo.

$$D = I \cdot t \quad \text{Ec 3}$$

Donde

D: dosis de radiación UV, mJ/cm².

La dosis requerida para desactivar el 99% de los microorganismos patógenos es de 50 mJ/m².

Por otro lado de la ecuación 3 se deduce que

$$I = \frac{P}{A} \quad \text{Ec 4}$$

Donde

P: potencia de la lámpara a la longitud de onda correspondiente, w.

A: área de contacto de la UV, m².

De modo que se cumple

$$A = d \cdot L \quad \text{Ec 5}$$

Donde

d: diámetro de la lámpara, m.

L: longitud de la lámpara, m.

D (cm)	L (cm)	A (cm ²)	Potencia de salida (w)	I (mW/m ²)
2	75	353,43	25	70,74
4	75	824,69	25	30,31
2	100	628,32	25	39,79
4	100	1256,64	25	19,89
2	150	942,48	25	26,53
4	150	1884,96	25	13,26

Tabla 6. Tamaño e intensidades producidas por lámparas de radiación UV.

A continuación se resume las características de la cámara de exposición y de las lámparas de UV.

ESTERILIZACIÓN DEL MEDIO	
Q	6666,67 m ³ /día
t operación	8,00 h
Lámpara UV	
desactivación	99 %
Dosis	100,00 mJ/m ²
P	25,00 w
I	13,26 mw/m ²
t	7,53 s
Diámetro	4,00 cm
Longitud	150,00 cm
Área de exposición	0,19 m ²
Cámara de exposición	
Espacio entre lámparas	0,73 m
Volumen cámara	2,33 m ³
Área cámara	337,50 m ²
Longitud cámara	1,50 m
Nº lámparas	2,00

Tabla 7. Resultados de la cámara de exposición y de las lámparas de UV.

3.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- <http://www.contraplagas.com/conductos.pdf>
- [http://www.elaguapotable.com/UV_OFRECE_SEGURIDAD_EN_D
ES.pdf](http://www.elaguapotable.com/UV_OFRECE_SEGURIDAD_EN_D
ES.pdf)
- <http://www.higiene.edu.uy/cefa/Libro2002/Cap%2027.pdf>

ANEJO 7:
DISEÑO DE
TANQUES

ÍNDICE

1.- DISEÑO DE RECIPIENTES.....	2
1.1.- Depósitos sometidos a presión interna	2
1.1.1.- Secuencia de cálculo.....	2
1.2.- Depósitos de almacenamiento.....	5
1.3.- Depósitos de fertilizantes concentrados.	6
1.4.- Balsa de contención de agua residual.	7
2.- BIBLIOGRAFÍA.....	8

1.- DISEÑO DE RECIPIENTES

1.1.- Depósitos sometidos a presión interna

Con la denominación de recipientes a presión se encuadra a los equipos constituidos por una envolvente, normalmente metálica, capaz de contener un fluido, líquido o gaseoso, cuyas condiciones de temperatura y presión son distintas de las del medio ambiente.

El diseño mecánico de estos recipientes consiste en la determinación de los espesores de las diferentes partes que lo forman, tomando como datos de partida la forma del recipiente, el material de construcción, la presión máxima que se va a soportar, la temperatura máxima, carga del viento y fuerzas sísmicas (estos dos últimos datos son necesarios únicamente cuando se necesitan grandes alturas). Todos estos cálculos se basan en el código ASME americano, en su sección VIII divisiones 1 y 2.

1.1.1.- Secuencia de cálculo.

En primer lugar se determinará el volumen del tanque, para lo cual se debe tener en cuenta que es necesario dejar un volumen vacío de seguridad. Considerando que este vacío ocupa el 20% de la capacidad nominal del recipiente, a partir de la siguiente ecuación se obtiene su volumen real.

$$V_{real} = \frac{V_{útil}}{0.8} \quad \text{Ec. 1}$$

El tanque se compone de un cuerpo cilíndrico rematado por dos cabezas elipsoidales 2:1. Esta geometría se va a mantener en todos los tanques de la instalación. Para el cálculo de la sección cilíndrica del tanque se tomará un cilindro de altura 1,5 veces el diámetro del mismo. De modo que el volumen de dicha sección se puede calcular del modo siguiente:

$$V_{cilindro} = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot 1,5 \cdot D \quad \text{Ec. 2}$$

Donde

D , diámetro del recipiente, m.

$V_{cilindro}$, volumen del recipiente, m^3 .

En cuanto a la cabeza y fondo, las cabezas elipsoidales 2:1 tienen una altura $\frac{1}{4}$ veces el diámetro de la sección cilíndrica. El volumen de la cabeza elipsoidal se obtiene de la forma:

$$V_{cabeza} = \frac{\pi}{24} D^3 \quad \text{Ec. 3}$$

El volumen total del recipiente es la suma de los volúmenes de las dos cabezas más el área de la sección cilíndrica.

$$V_{total} = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot 1,5D + \frac{\pi}{24} D^3 \quad \text{Ec. 4}$$

Agrupando términos en la ecuación 3 se despeja el diámetro.

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_{total}}{\frac{5,5\pi}{12}}} \quad \text{Ec. 5}$$

Para el diseño de los recipientes, se toma como presión de diseño una presión superior a la presión máxima, como medida de seguridad.

$$P_d = 1,1 \cdot P_{max} \quad \text{Ec. 6}$$

1.1.1.1.- Recipientes que contienen líquidos.

La presión máxima a la cual está sometido un recipiente que contiene líquido en su interior, se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$P_{max} = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot H \quad \text{Ec. 7}$$

P_{atm} , presión atmosférica, $Kg/m \cdot s^2$.

ρ , densidad del fluido, Kg/m³.

g , aceleración de la gravedad, m/s².

H , altura que ocupa el fluido, m.

Para el cálculo del espesor requerido por un recipiente cilíndrico que contiene líquido, teniendo en cuenta que los esfuerzos controlantes son los esfuerzos tangenciales, se tiene:

$$t = \frac{P(D/2)}{\sigma_t \cdot E_s} \quad \text{Ec. 8}$$

donde

σ_t , esfuerzo tangencial permisible, Kg/m².

P , presión, Kg/m·s².

E_s , eficiencia de la junta.

Esta ecuación se utiliza cuando se cumple la teoría de la membrana, cuando la relación entre el espesor y el radio del tanque es menor a 0,07. Si no cumple esta teoría se recurre a la norma ASME (VIII. 1), ecuación 9, siempre que la relación entre el espesor y el radio del tanque sea menor a 0,5 o la presión sea menor al producto $0,385 \cdot \sigma_t \cdot E_s$.

$$t = \frac{P \cdot (D/2)}{\sigma_t E_s - 0,6P} \quad \text{Ec. 9}$$

Para el cálculo del espesor del fondo elipsoidal 2:1, se utilizará la siguiente ecuación, aconsejada por la norma ASME.

$$t = \frac{P \cdot D}{2\sigma_t \cdot E_s - 0,2P} \quad \text{Ec.10}$$

El espesor final será el espesor calculado junto al espesor por corrosión.

$$t_f = t + t_{\text{corrosión}} \quad \text{Ec. 11}$$

1.2.- Depósitos de almacenamiento.

Cada tanque de almacenamiento tendrá una capacidad igual a la de producción de un día completo. No se deben de mezclar los cosechados de días distintos, ya que si por algún motivo se ha producido alguna anomalía en la producción será fácilmente detectable e identificable. En el presente proyecto los tanques de almacenamiento se diseñarán por el procedimiento explicado en el apartado anterior.

El material de construcción de los tanques de almacenamiento será de polipropileno, ya que este material da buenos rendimientos y es mucho más económico que otros con características similares. Las características de este material se resumen en la siguiente tabla.

Propiedades	POLIPROPILENO
Esfuerzo máximo, Pa	3,04E+07
Esfuerzo permisible por el material, Pa	1,52E+07
E, modulo de elasticidad, Pa	1,40E+9
E, psi	2,03E+05
ES, eficiencia de junta	0,95

Tabla 1. Características del polipropileno.

En cuanto a los márgenes de corrosión admisibles, se establece:

Fluido recipiente	Espesor de corrosión permisible, mm
Líquido corrosivo	9
Líquido no corrosivo	4
Vapor	1,5
Agua	1,5

Tabla 2. Espesor corrosivo permisible para distintos fluidos.

A continuación se muestra una tabla con las características de los tanques de almacenamiento.

Características de líquido	
volumen	14,57 m ³
μ	0,003 Kg/m.s
ρ	1025,00 Kg/m ³
Patm	101.325,00 Kg/m.s ²
Especificaciones del diseño	
Vacio de seguridad	20 %
h/D	1,50
Pd/Pmáx	1,10
Propiedades del material seleccionado	
Material	Polipropileno
σ_t	15.200.000 Kg/m ²
ES	0,95
CARACTERÍSTICAS DEL RECIPIENTE	
D	2,33 m
h	3,50 m
Volumen real	18,21 m ³
Espesor del cilindro	
Pmáx	136468,87 kg/m.s ²
Pd	150115,76 kg/m.s ²
t cilindro	0,01 m
t corrosión	4,00 mm
t cilindro	16,19 mm
Espesor fondo	
t fondo	0,01 m
t corrosión	4,00 mm
t fondo	16,12 mm

Tabla 3. Dimensiones y espesor de los tanques de almacenamiento del lodo de microalgas.

1.3.- Depósitos de fertilizantes concentrados.

Se van a disponer de dos tanques para los fertilizantes, uno para el nitrato sódico y el otro para el fosfato monopotásico. Estos contendrán los fertilizantes concentrados, de manera que cuando se precise el cabezal de riego dosificará la cantidad de fertilizante necesario.

Los tanques dispondrán del volumen necesario para satisfacer la demanda de 5 días. Se van a calcular en función del volumen necesario del que dispondrá el cabezal para reconstituir el medio total aportado a los reactores. Las características de los tanques se detallan a continuación:

Cabezal de riego	
Q fotobioreactor	6666,67 m ³ /día
t _{operación}	8,00 h
Q fotobioreactor	833,33 m ³ /h
Concentración de nutrientes en tanque	100,00 g/L
Concentración N tanque	1,18 mol/L
Concentración N medio	3,57 mmol/L
Q nutrientes necesario	2,53 m ³ /h
Volumen necesario renovación cada 5 días, m ³	101,19 m ³
Características del recipiente	
Vacío seguridad	20%
Volumen	120,00 m ³
Altura	4,00 m
S	30,00 m ²
D	6,18 m
D real	6,50 m

Tabla 4. Dimensiones y espesor de los tanques de fertilizantes concentrados.

1.4.- Balsa de contención de agua residual.

Se va a precisar de un depósito para contener el agua residual de la planta EDAR de El Toyo, que se suministrará cada día. Este depósito va a contar con la capacidad suficiente para satisfacer la demanda de una hora de dilución. Las características se exponen a continuación:

Balsa de agua residual	
Q fotobioreactor	6666,67 m ³ /día
t _{operación}	8,00 h
Q fotobioreactor	833,33 m ³ /h
Profundidad	5,00 m
ancho	10,00 m
Largo	16,67 m
Volumen	833,33 m ³

Tabla 5. Dimensiones de la balsa de agua residual.

El agua entrará a la balsa de forma continua a lo largo del día. Se irá renovando de manera que no estará estancada y evitará la formación de microorganismos no deseables. Ésta se fabricará por medio de la excavación en el propio terreno y se cubrirá con un plástico especial para la impermeabilización de los embalses o balsas de estas características.

2.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- J. C. López, A. Baille, S. Bonachela, M. M. González-Real and J. Pérez-Parra. Predicting the energy consumption of heated plastic greenhouses in south-eastern Spain. Spanish Journal of Agricultural Research (2006) 4 (4), 289-296.
- Ingeniería Química volumen 3: Flujo de Fluidos. Autores: E. Costa Novella, G. Calleja Pardo, G. Ovejero Escudero, A. de Lucas Martínez, J. Aguado Alonso, M. A. Uguina Zamorano.
- Diseño de Equipos e Instalaciones. Asignatura de 5º curso de Ingeniería Química (Plan 1999). Universidad de Almería.

ANEJO 8:

EQUIPOS

AUXILIARES

ÍNDICE

1.- CALDERA.	2
1.1.- Potencia específica de una caldera.	6
1.2.- Rendimiento de la caldera.	7
1.3.- Instalación de calderas.	7
1.4.- Acoplamiento caldera-quemador.	8
1.5.- Rendimiento de la combustión de un generador.....	11
1.6.- Requerimiento de la caldera elegida.....	11
2.- SOPLANTE.	12
3.- CÁMARA DE FRÍO.....	13
4.- BIBLIOGRAFÍA.....	15

1.- CALDERA.

La caldera es el componente esencial de una instalación de calefacción, en la que el calor generado en la combustión de un combustible, se transfiere a un fluido existente en la misma, (generalmente agua), denominándose en este caso, calderas de agua caliente.

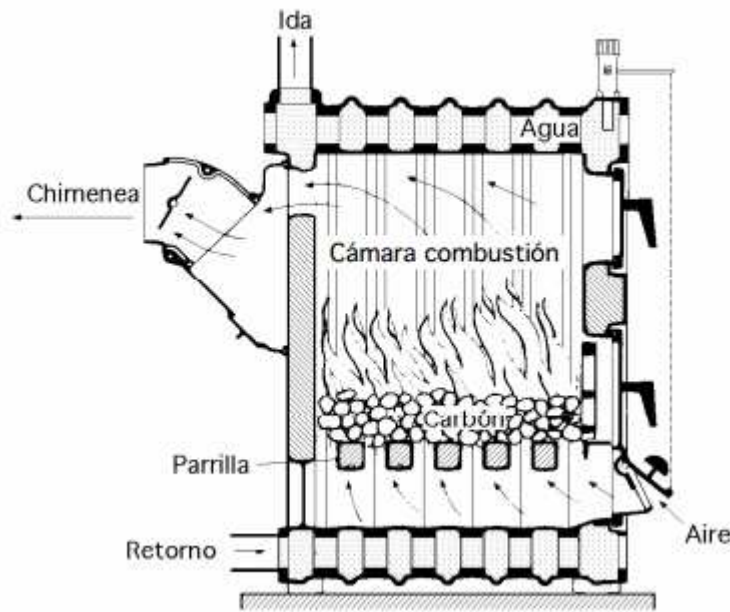


Fig. 1. Sección de una caldera de fundición con combustible sólido.

Combustión: La combustión es la reacción de un combustible con el oxígeno del aire, que genera un desprendimiento de calor. El aire necesario para la combustión se introduce, en forma natural, en la cámara de combustión (hogar), merced al tiro de la chimenea (calderas funcionando con combustibles sólidos), o forzado, mediante un ventilador que lleva incorporado el quemador mecánico.

La reacción química de la combustión viene representada en la figura siguiente:

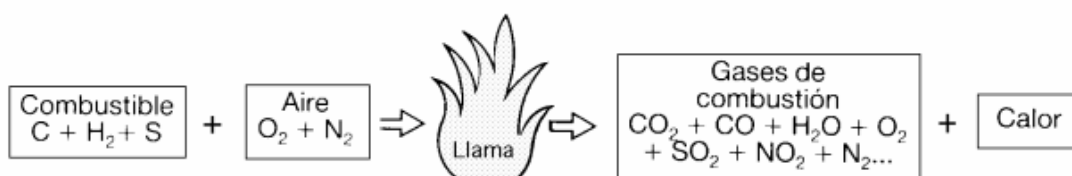


Fig. 2. Esquema de la reacción de la combustión.

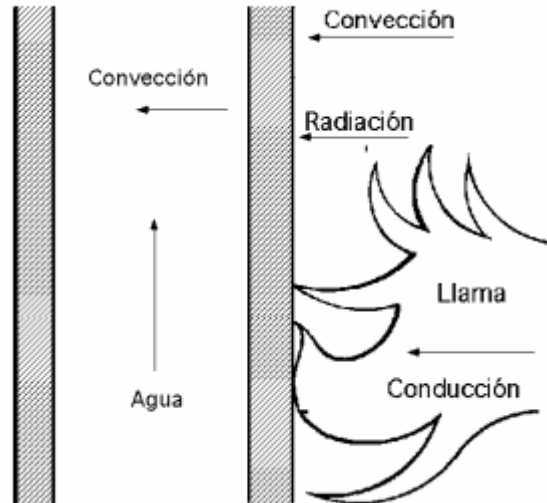


Fig. 3. Proceso de la transmisión de calor en un conducto.

En la transmisión de calor entre los gases de la combustión y la pared exterior de la caldera, la transferencia térmica se efectúa por radiación, convección y conducción; la radiación la emite la llama, la convección es debida al desplazamiento de los gases de combustión que están en contacto con la pared exterior de la cámara y la conducción la transmite la llama al incidir sobre la superficie exterior de la caldera. Este calor absorbido por la superficie de las paredes de la cámara de combustión y del circuito de humos, mediante convección pasa al agua de la caldera.

Cámara de combustión y circuito de humos: La cámara de combustión es la parte de la caldera donde se quema el combustible; la temperatura que en esta zona alcanzan las llamas y los gases de combustión depende de diversos parámetros, sobre todo de la relación (combustible-aire), y puede llegar a los 1800°C. El circuito de humos puede ser más ó menos sinuoso, dependiendo del diseño de la caldera.

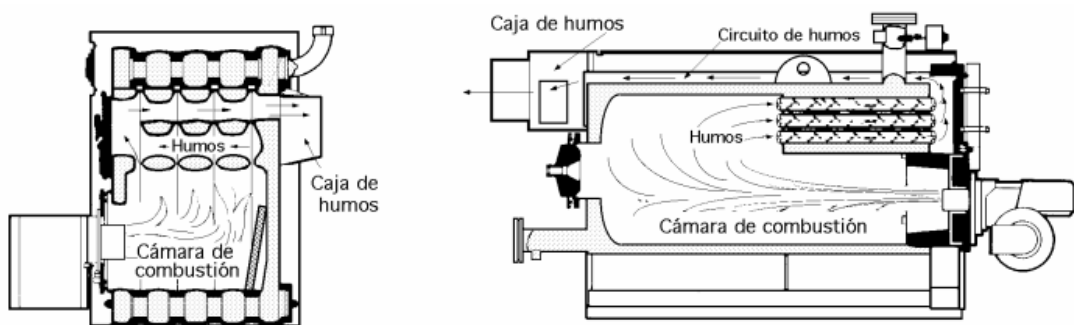


Fig. 4. Cámaras de combustión y circuitos de humos.

Superficie de calefacción de la caldera: La superficie de intercambio térmico, es la superficie de calefacción de la caldera, y es la suma de la superficie de la cámara de combustión y del circuito de humos. La temperatura de los humos a la salida de la caldera suele oscilar entre los 200°C y 260°C.

Caja de humos: La caja de humos (colector de humos), es la parte de la caldera donde confluyen los gases de la combustión en su recorrido final, que mediante un tramo de conexión se conducen a la chimenea.

Las calderas se clasifican, según el combustible a utilizar, en:

- Calderas para combustibles sólidos
- Calderas para combustibles fluidos (gasóleo o gas)
- Calderas eléctricas

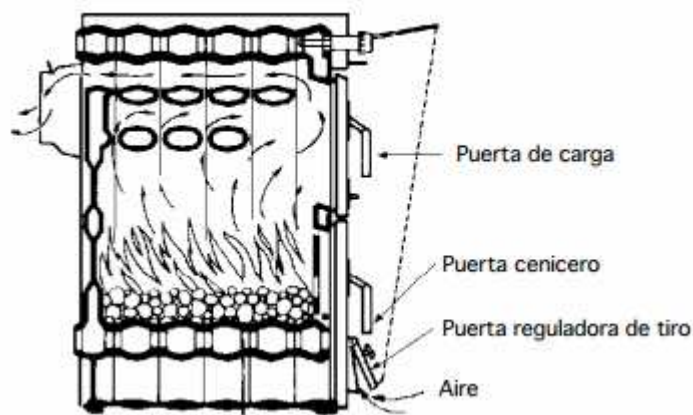


Fig. 5. Sección de una caldera de combustibles sólido.

Las calderas para combustibles sólidos disponen de una puerta de carga en la parte superior por donde se introduce el combustible. En la parte inferior va situada la puerta cenicero por la que se extraen las cenizas, y formando parte de ella la puerta reguladora de tiro, a través de la cual se introduce el aire para la combustión. El combustible sólido se coloca en las parrillas, que normalmente están refrigeradas por el agua de la caldera (calderas de fundición). Existen modelos que mediante una sencilla adaptación se pueden transformar para quemar combustibles fluidos.

Las calderas se pueden clasificar también en calderas de fundición y calderas de acero.

- Calderas de fundición: Están formadas por módulos de fundición gris acoplados entre sí mediante manguitos. En estas calderas hay tres tipos de elementos, el delantero o frontal, el posterior y los situados en la

parte central que se denominan medios. La gama de potencias de un modelo de caldera se consigue añadiendo elementos medios al de menor potencia. La unión y estanqueidad de los elementos se hace a través de la rosca de los manguitos; si los manguitos son esféricos se hace mediante tirantes. En las calderas en depresión, el circuito de humos opone muy poca resistencia, (que vence el propio tiro de la chimenea), al paso de los gases de combustión.

- Tienen una gran superficie de calefacción
- Son muy resistentes a la corrosión
- Casi todos los modelos se pueden transformar para quemar cualquier tipo de combustible
- Con los elementos desmontados, se puede transportar a cualquier zona del edificio

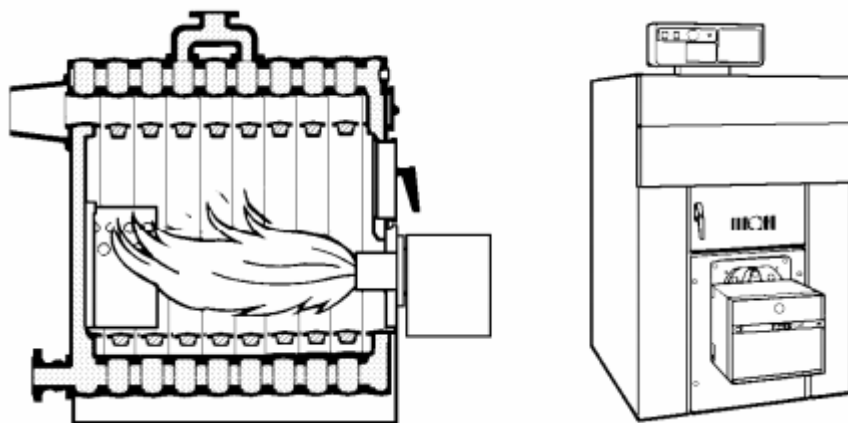


Fig. 6. Caldera de fundición.

- Calderas de acero: Están fabricadas con chapa de acero que, una vez soldadas, conforman un conjunto monobloc del cuerpo de la caldera. El circuito de humos opone mucha resistencia al paso de los gases de combustión (excepto las calderas que sean de depresión), que es debida a los turbuladores, situados en los tubos que forman el haz tubular, que facilitan la transmisión de calor y aumentan el rendimiento de la caldera, pero que dificultan el paso de los gases de combustión que se encuentran en el interior de la misma a una cierta presión, y de aquí el nombre de calderas sobrepresionadas.

La superficie de calefacción de estas calderas es menor que la de las calderas de fundición o en depresión, por lo que son poco sensibles a los cambios bruscos de temperatura. Tienen elevados rendimientos, respecto a la potencia son de tamaño reducido y de poco peso, y para el montaje apenas precisan de mano de obra.

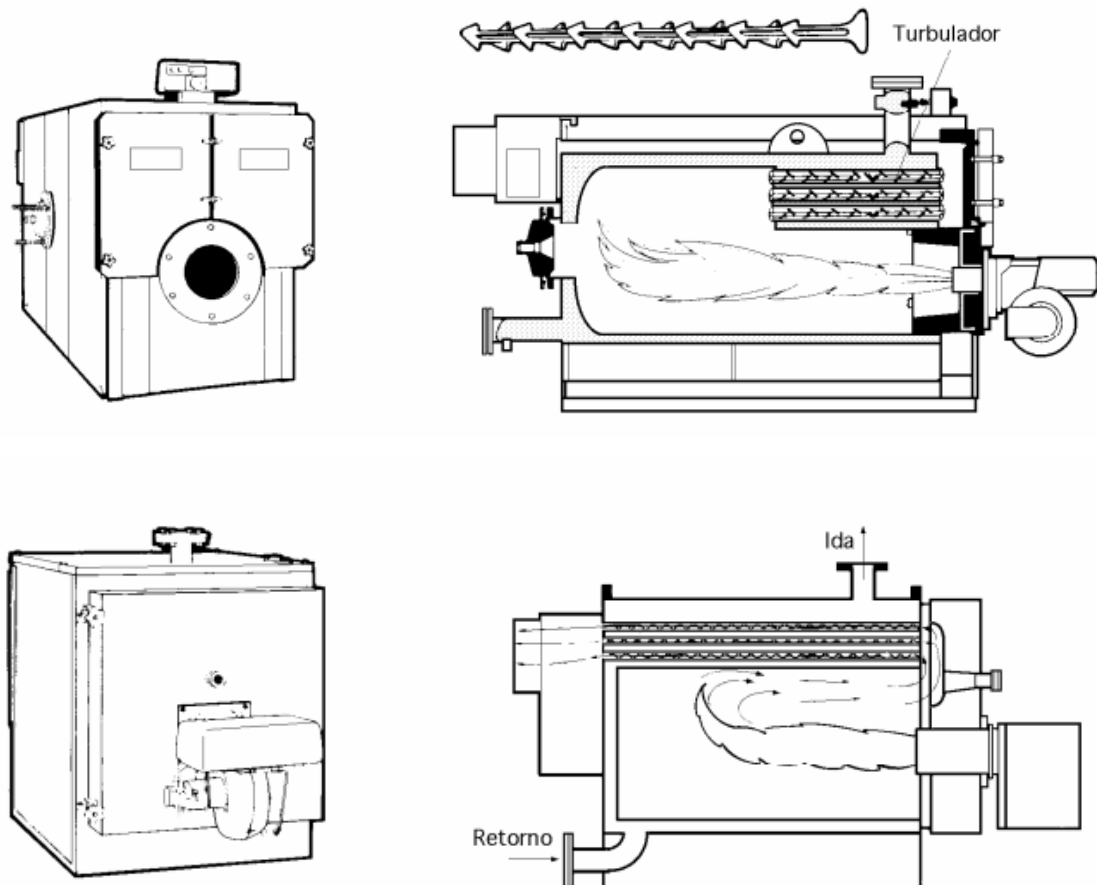


Fig. 7. Caldera de acero, parte delantera y trasera.

1.1.- Potencia específica de una caldera.

La potencia específica de una caldera es la relación entre la potencia calorífica que proporciona y la unidad de superficie calefactora. La potencia específica puede variar mucho de un tipo de caldera a otro, interviniendo en gran manera el diseño, el material de la caldera y el combustible que se utiliza.

Cálculo de la caldera

En la caldera tiene lugar un intercambio térmico entre el calor que emite el combustible quemado y el que el fluido calefactor recibe. La potencia de la caldera se determina en la forma:

$$Nu = (N_r + N_L)a \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

Nu: potencia de la caldera en Kcal/h.

N_r: potencia instalada en los radiadores en Kcal/h.

N_L: pérdidas de calor en las tuberías en Kcal/h.

a: factor, (debido a la inercia térmica), de valor: 1,1-1,2.

1.2.- Rendimiento de la caldera.

Se debe diferenciar entre la potencia térmica total de la caldera, que es la máxima que se puede alcanzar en el hogar de la caldera, aportada por el combustible, y la potencia térmica útil que es la que es capaz de absorber el fluido térmico y por tanto la suministrada al sistema. En base a estas se define el rendimiento de la caldera como el cociente entre la potencia útil y la potencia total de la caldera:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}} \quad \text{Ec. 2}$$

Las calderas de biomasa comerciales alcanzan rendimientos entre el 85 y 92%, valores éstos similares a los de las calderas de gasóleo o de gas.

1.3.- Instalación de calderas.

Para optimizar la seguridad de las calderas apoyadas en el suelo, evitar sus posibles problemas de funcionamiento y obtener mejores rendimientos en su instalación, se presenta la siguiente normativa:

Emplazamiento: La caldera se tiene que ubicar en un zócalo para el apoyo de la misma, que debe construirse con materiales resistentes al calor.

Si la caldera trabaja con combustibles sólidos, el zócalo debe tener una cavidad central que disponga de una rampa para facilitar la recogida de cenizas. Al colocar la caldera sobre el zócalo, y para evitar entradas parásitas de aire que reducen el rendimiento de la misma, ésta se deberá enmasillar por su base de apoyo con el zócalo.

Sala de calderas: La altura mínima de la sala de calderas debe ser:

$$H = \text{alturacaldera} + 80\text{cm}$$

Ec. 3

Mínimo 200 cm

Se considera sala de calderas, el local en el que se sitúan las calderas para calefacción o agua caliente sanitaria con potencia superior a 50 kW, 43.000 Kcal/hora.

Para que la combustión se desarrolle correctamente, las salas de calderas deben disponer de una entrada de aire amplia, con aperturas (de igual sección) a 30 cm del suelo y techo, para la entrada y salida del aire; la aportación de aire se puede realizar mediante ventilación directa, natural o forzada.

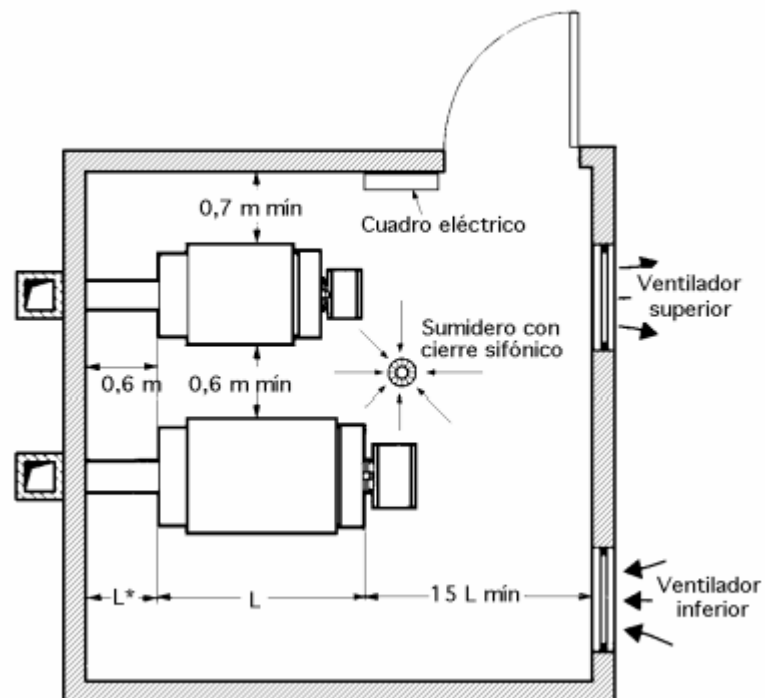


Fig. 8. Dimensiones mínimas de una sala de calderas.

En el caso de ventilación forzada se dispondrá de un ventilador que asegure un mínimo de aire de 45 L/s y kW, ya que la falta de aire para la combustión produce hollín en la caldera; su funcionamiento dependerá del tipo de quemador.

1.4.- Acoplamiento caldera-quemador.

Las calderas presurizadas, se caracterizan por estar el circuito de humos en sobrepresión. La resistencia del paso de los gases de combustión es

variable según el modelo de caldera; en las calderas de fundición no suelen superar los 3 mm, por lo que esta resistencia se puede vencer fácilmente mediante el tiro natural creado por la chimenea, dando lugar a una caldera con depresión en el hogar.

La caldera es ligeramente presurizada cuando la resistencia al paso de los gases de la combustión sea del orden de, 4 a 10 mm de c.a., y es presurizada para resistencias superiores. Para vencer estas resistencias se deben instalar quemadores presurizados capaces de proporcionar la presión suficiente, con la finalidad de hacer salir los gases de la combustión hasta la base de la chimenea; estos quemadores se seleccionan según la curva característica, presión-potencia-caudal combustible.

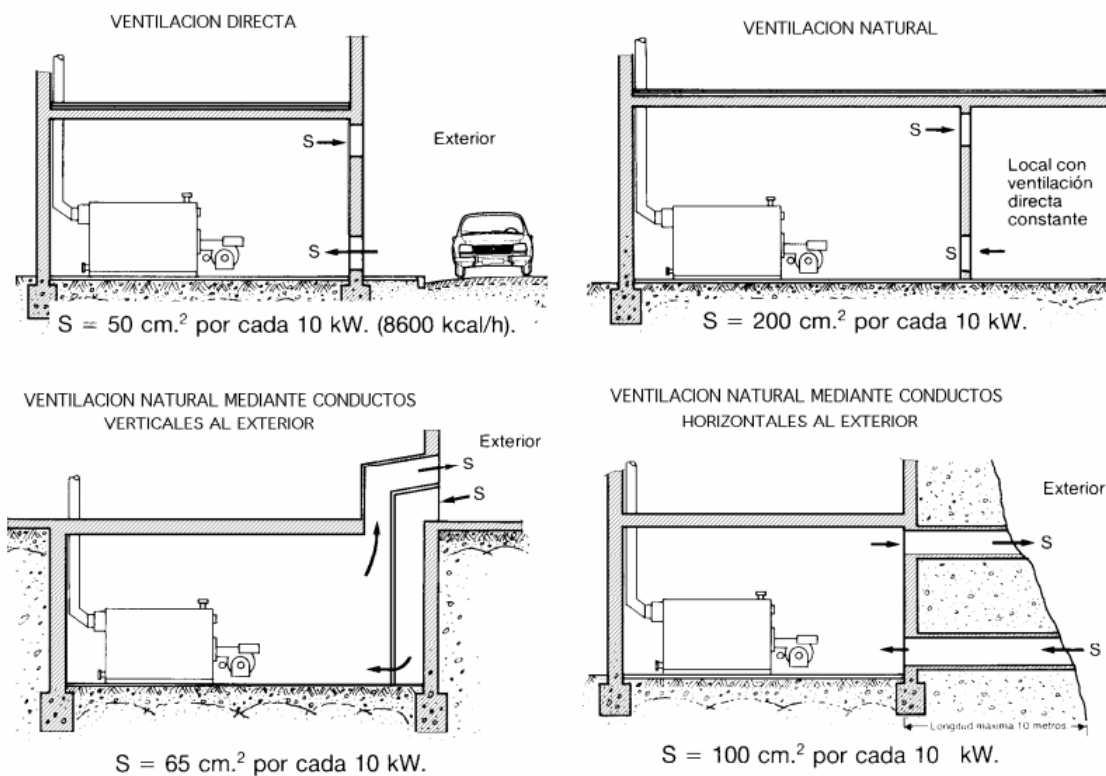


Fig. 9. Tipos de ventilación de una sala de calderas.

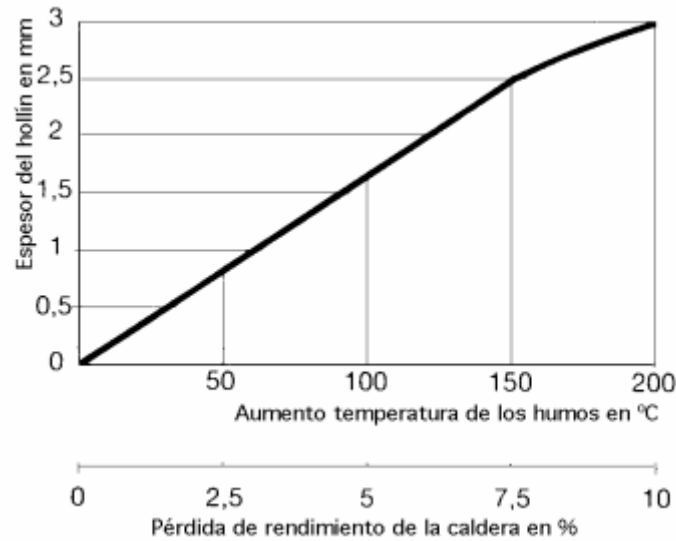


Fig. 10. - Influencia del hollín en el rendimiento de la caldera y en el aumento de temperatura de los humos.

Selección del quemador: Para un correcto acoplamiento del quemador a un generador hay que considerar, fundamentalmente, la potencia y las características de la cámara de combustión. Elegido el generador, según la potencia requerida por la instalación, hay que determinar el gasto de combustible G a quemar, en kg/h ó m^3/h , en la forma:

$$G = \frac{Nu}{(PCI) \cdot \eta} \quad \text{Ec. 4}$$

siendo:

Nu : potencia del generador, Kcal/h .

PCI : potencia calorífica inferior del combustible.

η : el rendimiento del generador

La potencia calorífica inferior de un combustible PCI es la energía desprendida durante su combustión por unidad de tiempo, no teniendo en cuenta la energía de condensación del vapor de agua contenido en los gases de combustión. Es, por lo tanto, la potencia calorífica inferior.

1.5.- Rendimiento de la combustión de un generador.

El rendimiento de la combustión de un generador en % es:

$$\% = 100K \frac{T_h - T_a}{\%CO_2} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

T_h : temperatura de los humos, °C.

T_a : Temperatura ambiente de la sala, °C.

K: coeficiente específico para cada combustible.

1.6.- Requerimiento de la caldera elegida.

Las calderas se diseñan para producir vapor para las necesidades de los procesos, o para sistemas de calefacción, junto con la generación de energía eléctrica. En cada caso, el objetivo está en conseguir el diseño más eficiente y fiable con un coste mínimo.

En este caso la utilización de una caldera está principalmente en obtener el CO₂ necesario para obtener el objetivo de producción. Por otra parte, se puede utilizar a su vez para calefacción o requerimiento de agua caliente en la planta. Como combustible se utilizarán los propios lodos generados en la depuradora previo secado, o en su defecto biomasa de origen vegetal como residuos vegetales de invernadero, hueso de aceituna o agripellets. En todos los casos el calor de combustión es similar y la mayor diferencia entre estos combustibles radica en su contenido en cenizas que puede variar entre el 2 y 15%. En función de esto se deberá ajustar el aporte de aire a la caldera y la frecuencia de retirada de cenizas de la caldera.

Los requerimientos de la caldera son los especificados a continuación:

Requerimientos para el cultivo	
requerimientos CO ₂	8,33 Tn/día
y _{CO₂} inicial	0,10
Cantidad CO ₂	347,22 kg/h
Cantidad CO ₂	7,89 kmol/h
Gases combustión	78,91 kmol/h
Gases combustión	2.288,51 kg/h
Gases de combustión	54.924,24 kg/día
Densidad gas (kg/Nm ³)	1,30
Gases combustión	1.766,57 Nm ³ /h
Gases combustión	0,49 Nm ³ /s
Lodos EDAR	
2,5kg CO ₂ - 1kg de lodo seco	
Cantidad lodo seco necesario	3.333,33 kg/día
Cantidad lodo seco necesario	138,89 kg/h
Capacidad de la EDAR	4.400,00 kg/día
CO ₂ total EDAR	11,00 Tn/día
Cantidad de lodo EDAR	183,33 kg/h
Requerimientos de la caldera	
Generador	
T _a	35,00 °C
T _{humos}	180,00 °C
K	0,052
η	75,40 %
G	183,33 kg/h
PCI	2.392,34 Kcal/kg
Nu	330.701,75 kcal/h
Potencia	21,98 kw
Caldera	
η	0,83 %
Nr	950.000,00 kcal/h
N _L	3.996,00 kcal/h
a	1,10
Nu	1.049.395,60 kcal/h
Potencia	69,74 kw

Tabla 1. Requerimientos de CO₂ y de la caldera

2.- SOPLANTE.

Para el diseño de la soplante se realiza un balance de energía mecánica entre la entrada y salida de la soplante para fluidos compresibles de comportamiento ideal, suponiendo nulo el rozamiento, que para compresión politrópica es la ecuación siguiente:

$$W = \left(\frac{n}{n-1} \right) \left(\frac{P_e}{\rho} \right) \left[\left(\frac{P_s}{P_e} \right)^{\left(\frac{n-1}{n} \right)} - 1 \right] \quad \text{Ec. 6}$$

donde:

n : coeficiente de compresión politrópica, 1,3.

P_e : presión de entrada del gas al compresor, N/m^2 .

P_s : presión de salida del gas del compresor, N/m^2

ρ : densidad del gas a la entrada del compresor, kg/m^3 .

Así, se obtiene el trabajo necesario para mandar el CO_2 al conjunto de fotobiorreactores:

Potencia de soplante y número de soplantes	
Propiedades físicas del gas	
ρ gas	1,30 kg/Nm^3
n	1,3
P_e	101.325,00 N/m^2
P_s	131.325,00 N/m^2
Caudal másico de gas	2288,51 kg/h
Características de la soplante	
W	20,90 kJ/kg
Potencia	13,29 kW
Nº soplantes	4,00
Potencia/soplante	4,00 kW

Tabla 2. Cálculo de la potencia y número de soplantes.

Con el caudal de CO_2 empleado para todo el sistema y estos resultados se considera adecuado instalar 4 soplantes de 4 kW cada una lo que permite el uso alternativo de las mismas, con periodos de descanso y posibilidad de mantenimiento en cada una de ellas. El arranque de las soplantes será secuencial en función de las demandas de CO_2 en el sistema. Todas las soplantes aportan gas de combustión a la misma línea de gas de combustión en toda la planta, activándose un mayor número de ellas en función de la demanda de los cultivos registrada mediante el incremento de pH.

3.- CÁMARA DE FRÍO.

El almacenamiento de biomasa, sea cual sea el tipo de biomasa, es un problema relevante ya que en condiciones naturales el contenido en humedad de la misma es elevado y ello facilita su rápida descomposición. En este caso,

la biomasa no ha sido sometida a secado y por tanto se acentúa el problema de descomposición. Para evitarlo se almacena la biomasa en una atmósfera fría, de manera que la degradación del material se ralentiza por inactivación de las bacterias y microorganismos. El almacenamiento debe ser mínimo para evitar la descomposición de la biomasa, por lo que el tiempo de almacenamiento no excederá los cinco días.

Se utilizará una cámara de frío para mantener la temperatura del lodo de microalgas a 4°C, de manera que se pueda conservar hasta su retirada. La cámara de refrigeración estará provista de 6 contenedores, y sus características se resumen a continuación:

Características de la cámara de frío	
h	4,00 m
ancho	10,00 m
fondo	13,00 m
P _{motor} necesaria	108,33 kw
Área total	130,00 m ²

Fig. 11. Características de la cámara de frío.

Para facilitar el trasiego de cargas y descargas en la cámara, y que las corrientes de tuberías no dificulten el trabajo dentro de la cámara, los tanque de almacenamiento se dispondrán a ambos lados de la entrada, pegados a la pared y con una distancia mínima de 1m entre tanque y tanque, para facilitar las maniobras de limpieza y de trabajo sobre ellos.

El número de tanques a utilizar serán 5, uno por cada día de la semana de cosechado. Por seguridad, y para no interrumpir el cosechado mientras se vacían o se limpian, se dispondrá de un sexto tanque que servirá de recurso en dichos momentos. Los tanques estarán provistos de válvulas de apertura, para llevar a cabo la fase de descarga y traslado de la biomasa. Éstas estarán colocadas en el fondo del tanque. También serán útiles para la limpieza de los mismos una vez descargados de biomasa. Todos los tanques, dispondrán de escaleras y plataformas para el acceso de inspección y limpieza, que estarán sujetas a los tanques mediante clips a los que se atornillan directamente. Todos los tanques dispondrán orejetas de izado del equipo para su posible traslado, soldadas directamente a la carcasa.

4.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- J. C. López, A. Baille, S. Bonachela, M. M. González-Real and J. Pérez-Parra. Predicting the energy consumption of heated plastic greenhouses in south-eastern Spain. Spanish Journal of Agricultural Research (2006) 4 (4), 289-296.
- Ingeniería Química volumen 3: Flujo de Fluidos. Autores: E. Costa Novella, G. Calleja Pardo, G. Ovejero Escudero, A. de Lucas Martínez, J. Aguado Alonso, M. A. Uguina Zamorano.

ANEJO 9:
INTERCAMBIADORES
DE CALOR

ÍNDICE

1.- FUNDAMENTO.....	2
2.- DISEÑO DE INTERCAMBIADORES TUBULARES.....	3
2.1.- Especificaciones del cambiador.....	3
2.2.- Selección de los tubos para el intercambiador.	4
2.2.1.- Coeficientes individuales de transmisión de calor.	5
2.3.- Área de intercambio.....	7
3.- DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CARCASA Y TUBOS.....	9
3.1.- Especificaciones del cambiador.....	9
3.1.1.- Coeficiente de transmisión de calor en el lado de los tubos... ..	15
3.1.2.- Coeficiente de transmisión de calor del lado de la carcasa.....	17
3.1.3.- Cálculo de la pérdida de carga.	18
3.2.- Dimensiones de intercambiadores.....	19
4.- BIBLIOGRAFÍA.....	24

1.- FUNDAMENTO.

En el presente anejo se procederá al diseño de los intercambiadores de calor necesarios para el proceso, como es el caso del cambiador de calor de gas de combustión que se recoge de la caldera; y el cambiador para la corriente de lodo de microalga que sale de la centrifuga y pasa a la cámara de frío.

Un cambiador de calor es todo dispositivo mecánico que permite la transmisión de calor entre dos fluidos separados por una pared sólida. En todo cambiador el balance de calor que siempre se tiene que cumplir es:

$$\text{Calor ganado por fluido frío} = \text{Calor cedido por el fluido caliente}$$

La ecuación general de la transferencia de calor a través de una pared que separa dos fluidos es la siguiente:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T_{ml} \quad \text{Ec. 1}$$

donde

Q, calor transferido por unidad de tiempo, W.

A, área de transferencia de calor, m².

ΔT_{ml} , variación de temperatura media logarítmica, °C.

U, coeficiente global de transferencia de calor, W/m²°C.

El objetivo principal en el diseño del intercambiador es calcular el área de intercambio de calor necesaria para calentar o enfriar un fluido del que conocemos su temperatura inicial y la que se desea alcanzar, así como la cantidad de ese fluido. Con estos datos se deben calcular el área de intercambio, el tipo de cambiador más económico, que permita cubrir estas necesidades, y sus dimensiones.

2.- DISEÑO DE INTERCAMBIADORES TUBULARES.

2.1.- Especificaciones del cambiador.



En primer lugar se definen las corrientes de entrada y salida del cambiador, así como sus temperaturas.

T_e : temperatura de entrada del gas de combustión al cambiador, °C.

T_s : temperatura de salida del gas de combustión del cambiador, °C.

T_{amb} : temperatura del aire circundante, °C.

m : caudal másico de gas de combustión, kg/s.

Las propiedades físicas del gas de combustión se evalúan a la temperatura media de la corriente gaseosa. Para el aire exterior sus propiedades físicas son evaluadas a la temperatura de la capa límite, que se define como:

$$T_f = \frac{T_{pared} + T_{amb}}{2} \quad \text{Ec. 2}$$

donde

T_f : temperatura de la capa límite, °C.

T_{pared} : temperatura de la pared del intercambiador, °C.

El flujo de calor intercambiado, en base al gas de combustión se determina mediante la ecuación siguiente:

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T \quad \text{Ec. 3}$$

donde

Q = Calor transferido por unidad de tiempo, kW

m = Caudal másico de gas, kg/s

C_p = Calor específico del gas, kJ/kg·°C

ΔT = Gradiente térmico del fluido, °C

2.2.- Selección de los tubos para el intercambiador.

Se asume un diámetro externo para el tubo del intercambiador, elegido de entre los diámetros disponibles para tubos de acero utilizados en cambiadores de calor según la norma BS.

D exterior (mm)	Espesores de pared (mm)				
16	1.2	1.6	2.0	-	-
20	-	1.6	2.0	2.6	-
15	-	1.6	2.0	2.6	3.2
30	-	1.6	2.0	2.6	3.2
38	-	-	2.0	2.6	3.2
50	-	-	2.0	2.6	3.2

Tabla 1. Dimensiones de tubos de acero, norma BS.

Haciendo uso de la fórmula de Barlow se determina el espesor mínimo necesario por los tubos del cambiador.

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t} \quad \text{Ec. 4}$$

donde

S = tensión de ruptura del material, MPa.

P = presión interna, MPa.

D = diámetro externo, mm.

t = espesor de la pared, mm.

Como margen de seguridad, el cálculo del espesor se determina para una presión 4 veces superior a la real.

2.2.1.- Coeficientes individuales de transmisión de calor.

2.2.1.1.- Coeficiente de transmisión de calor en el lado de los tubos.

El coeficiente individual de transmisión de calor para fluidos circulando por el interior de conducciones de sección uniforme en régimen turbulento ($Re > 10.000$) se correlaciona mediante la siguiente ecuación:

$$Nu = C \cdot Re^a \cdot Pr^b \quad \text{Ec. 5}$$

donde

Nu, número de Nusselt $(h_i \cdot d_e / k_f)$

Re, número de Reynolds $(\rho \cdot v_t \cdot d_e / \mu)$

Pr, número de Prandtl $(c_p \cdot \mu / k_f)$

h_i , coeficiente de transmisión de calor interno, $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

d_e , diámetro equivalente, m. $d_e = d_i$ para tubos.

v_t , velocidad del fluido por el interior de la conducción, m/s.

k_f , conductividad térmica del fluido, $W/m \cdot ^\circ C$.

μ , viscosidad del fluido, $kg/m \cdot s$.

c_p , calor específico del fluido, $J/Kg \cdot ^\circ C$.

ρ = densidad del fluido, kg/m^3

C, constante que puede ser:

C=0,021 para gases,

C=0,023 para líquidos no viscosos,

C=0,027 para líquidos viscosos.

Los parametros a y b toman los siguientes valores:

a= 0,8

b= 0,4 (para fluidos que se calientan)

b= 0.3 (para fluidos que se enfrían)

2.2.1.2.- Coeficiente individual de transmisión de calor por el exterior de los tubos

La transmisión de calor desde la superficie exterior de los tubos al ambiente tiene lugar por convección natural. Para convección natural sobre un

tubo o cilindro horizontal, el coeficiente individual de transmisión de calor se correlaciona por la siguiente ecuación:

$$Nu = C \cdot Ra^n \quad \text{Ec. 6}$$

Donde

Ra= número de Rayleigh, $(Gr \cdot Pr)$

Gr= número de Grashoff, $(g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 / \nu^2)$

L= longitud característica, m (en este caso es el diámetro exterior del tubo)

β = coeficiente de expansión térmica, $1/T(K)$ (para gases ideales)

ν = viscosidad cinemática, (μ/ρ)

Los parámetros C y n dependen del valor de Ra según la tabla siguiente.

	$10^4 < Ra < 10^9$	$10^9 < Ra < 10^{12}$
C	0,53	0,13
n	0,25	0,33

Tabla 2. : Parámetros del modelo para convección natural

Las propiedades físicas del fluido (Pr , ν , α , β) se evalúan a la temperatura de la capa límite.

2.2.1.3.- Coeficiente global de transmisión de calor.

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{0d}} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2k_w} + \frac{d_0}{d_i \cdot h_{id}} + \frac{d_0}{d_i \cdot h_i} \quad \text{Ec. 7}$$

donde

U, coeficiente global basado en el área externa del tubo, $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

h_0 , coeficiente individual del fluido externo al tubo, $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

h_i , coeficiente individual del fluido interno, $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

h_{0d} , coeficiente externo de ensuciamiento, $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

h_{id} , coeficiente interno de ensuciamiento, $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

d_i , diámetro interno del tubo, m.

d_o , diámetro externo del tubo, m.

k_w , conductividad térmica del material de la pared del tubo, W/m°C.

En la determinación del coeficiente global de transmisión de calor se han despreciado las resistencias a la transmisión del calor tanto en el interior de los tubos como en el lado exterior.

2.3.- Área de intercambio.

La fuerza impulsora para la transmisión de calor, se define como la fuerza impulsora media logarítmica representada por la ecuación:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_e - t_{amb}) - (T_s - t_{amb})}{\ln \frac{T_e - t_{amb}}{T_s - t_{amb}}} \quad \text{Ec. 8}$$

donde

T_e , temperatura de entrada del fluido al tubo, °C.

T_s , temperatura de salida del fluido del tubo, °C.

T_{amb} , temperatura ambiente, °C.

A partir de la ecuación fundamental de transmisión de calor se determina que el área de intercambio de calor, que se define como:

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} \quad \text{Ec. 9}$$

Obtenida el área de intercambio podremos determinar la longitud de tubo del intercambiador.

Intercambiador de Calor E-5:

Cambiador de calor E-5 (Enfriamiento de los humos de la caldera)	
Propiedades del material de construcción	
Material	Acero al carbono
Kw material	45,00 w/m.K
σ material	1550,00 MPa
Parámetros de diseño	
T_e	180,00 °C
T_s	30,00 °C
T_{amb}	18,00 °C
T_m pared	61,50 °C

Tf	39,75 °C
P	1,00 atm
Tubos	
de/t	7,65
de	50,00 mm
t	3,00 mm
di	44,00 mm
Propiedades físicas del gas	
ρ promedio	0,98 kg/m ³
μ	2,18E-05 kg/m.s
Cp	0,28 kcal/kg.K
m	2288,51 kg/h
m	0,64 kg/s
Q _{intercambiado}	111,60 kw
Kf gas	0,03 W/m.K
Propiedades físicas del aire	
ρ promedio	0,98 kg/m ³
μ	2,2E-05 kg/m.s
Cp	1,00 kcal/kg.K
Kf aire	0,03 W/m.K
β	3,00E-03 1/K
Coef. de TQ del lado de los tubos	
área paso	1,5E-03 m ²
v	15,00 m/s
Re	33409,09
Pr	0,91
Nussel	87,33
hi	45,41 w/m ² .K
Coef. de TQ del lado exterior de los tubos	
Gr	0,17
μ	2,24E-05
Pr	3,55E-03
Gr	2,54E+11
Ra	9,01E+08
n	0,33
C	0,13
Nussel	117,24
he	69,28 w/m ² .K
Coef Global de TQ	
U	29,63 w/m ² .K
ΔT	57,63 °C
Área de intercambio	
Área intercambio	11,39 m ²
Longitud del tubo	129,46 m
Tubo con 4 aletas	
de	50,00 mm
Área intercambio	11,39 m ²
Longitud del tubo	20,45 m

Tabla 3. Características del intercambiador E-5.

3.- DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CARCASA Y TUBOS.

3.1.- Especificaciones del cambiador.

Los intercambiadores de calor de carcasas y tubos son los más usados, comúnmente, en la industria de procesado, por las siguientes características.

- Tiene una gran relación superficie volumen.
- Se puede trabajar a presiones elevadas.
- Técnicas de fabricación bien establecidas.
- Amplio rango de materiales de fabricación.
- Fáciles de limpiar.
- Diseño establecido.

Se usarán cambiadores de carcasa y tubos horizontales por la facilidad de circulación del fluido concentrado. El coeficiente global de transferencia de calor se calcula mediante la ecuación 7, vista anteriormente. Para comenzar el diseño se supone un valor de U que se estima desde datos experimentales tomados, que se reflejan en la siguiente tabla.

Shell and tube exchangers		
Hot fluid	Cold fluid	U (W/m ² °C)
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800–1500
Organic solvents	Organic solvents	100–300
Light oils	Light oils	100–400
Heavy oils	Heavy oils	50–300
Gases	Gases	10–50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250–750
Light oils	Water	350–900
Heavy oils	Water	60–300
Gases	Water	20–300
Organic solvents	Brine	150–500
Water	Brine	600–1200
Gases	Brine	15–250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500–4000
Steam	Organic solvents	500–1000
Steam	Light oils	300–900
Steam	Heavy oils	60–450
Steam	Gases	30–300
Dowtherm	Heavy oils	50–300
Dowtherm	Gases	20–200
Flue gases	Steam	30–100
Flue	Hydrocarbon vapours	30–100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapours	Water	1000–1500
Organic vapours	Water	700–1000
Organics (some non-condensables)	Water	500–700
Vacuum condensers	Water	200–500
<i>Vaporisers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000–1500
Steam	Light organics	900–1200
Steam	Heavy organics	600–900
Air-cooled exchangers		
Process fluid		
Water		300–450
Light organics		300–700
Heavy organics		50–150
Gases, 5–10 bar		50–100
10–30 bar		100–300
Condensing hydrocarbons		300–600

Tabla 4. Típicos coeficientes globales de transferencia.

Una vez estimado el valor de U , se calcula ΔT_{ml} , por medio de la ecuación

8.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} \quad \text{Ec. 8}$$

T_1 , temperatura de entrada del fluido al tubo, °C.

T_2 , temperatura de salida del fluido del tubo, °C.

t_1 , temperatura de entrada del fluido a la carcasa, °C.

t_2 , temperatura de salida del fluido a la carcasa, °C.

En el diseño de cambiadores de carcasa y tubos hay que estimar la diferencia de temperaturas verdadera, ΔT_m a partir de la diferencia de temperaturas media logarítmica aplicando un factor de corrección de las temperaturas, F_t , que tiene en cuenta la desviación del flujo en contracorriente puro:

$$\Delta T_m = F_t \cdot \Delta T_{ml} \quad \text{Ec. 10}$$

F_t es función de las temperaturas y del número de pases por los tubos y por la carcasa. Normalmente se correlaciona con dos relaciones adimensionales entre las temperaturas, a través de gráficos que varían en función del número de pases.

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad \text{Ec. 11}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad \text{Ec. 12}$$

Los tubos utilizados son cilíndricos y lisos. Las dimensiones son estandar y se recogen en normas, como las normas TEMA (American Tubular Exchangers Manufacturers Association) y BS (British Standard). Para un área de intercambio de calor dada, el uso de tubos más largos reducirá el diámetro de la carcasa, lo que generalmente se traduce en un precio menor del cambiador, sobre todo para presiones en la carcasa altas.

Los tubos en el haz están dispuestos de forma regular ocupando generalmente los vértices de una de las figuras geométricas siguientes.

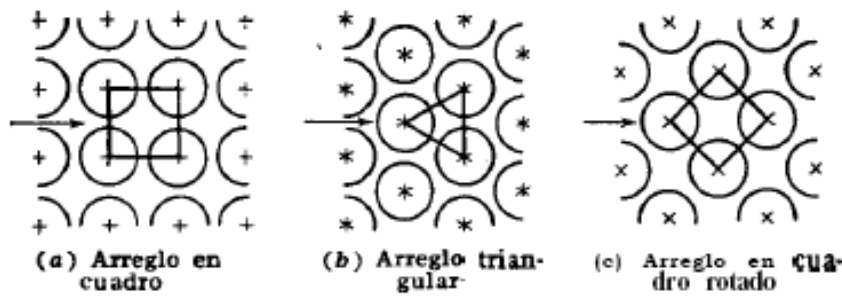


Fig. 1. Disposición de los tubos.

La disposición triangular no permite una limpieza mecánica fácil de la superficie externa de los tubos, pero mejora el intercambio de calor y consigue que para una misma carcasa entren aproximadamente un 15% más que usando una disposición cuadrada, por tanto esta disposición es la adecuada cuando los fluidos son limpios o los materiales soportan la limpieza química. Sin embargo, es la que provoca mayor caída de presión. La disposición que más se emplea es la cuadrada, que permite la limpieza mecánica de los tubos por la parte exterior. Esta disposición y el cuadrado girado son las que más se emplean con fluidos sucios.

El lado de la figura geométrica en el que se disponen los tubos se denomina paso por los tubos. Su valor será:

$$P_t \geq 1,25 \cdot d_0 \quad \text{Ec. 13}$$

P_t , paso de los tubos, m.

d_0 , diámetro exterior de los tubos, m.

Los valores normales para el paso de los tubos, en función del diámetro de los tubos, son:

Disposición de los tubos	d_0 , in	P_t , in
Triangular	3/4	15/16
	1	1 1/4
Cuadrada	3/4	1
	1	1 1/4

Tabla 5. Valores normales para P_t .

El fluido que va por los tubos puede pasar una o varias veces por los mismos. El número de pases por los tubos se selecciona para dar la velocidad de diseño requerida en el lado de los tubos. Suele variar entre 1 y 16.

La parte del intercambiador que separa los dos fluidos y fija los tubos, se denomina placa tubular. Puede ser fija o flotante, dependiendo de que tenga el movimiento impedido o libre. Están en contacto con los dos fluidos del intercambiador, por lo que están sometidas a la diferencia de presión entre la carcasa y los tubos y deberán diseñarse para que soporten esta presión, las temperaturas más severas y con un material que soporte al fluido más corrosivo. El espesor de la placa tubular reducirá levemente la longitud útil del tubo, lo que debe tenerse en cuenta en el cálculo del área disponible de transmisión de calor.

El diámetro del haz de tubos depende del número de tubos y del número de pasos, ya que se deben dejar espacios sobre la placa tubular para situar las placas de división de pasos. Se puede estimar mediante la ecuación empírica basada en la disposición de tubos estándar.

$$D_b = d_0 \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{1/n_1} \quad \text{Ec. 14}$$

N_t , número de tubos.

K_1 , n_1 , constantes que dependen de la disposición de los tubos y del número de pasos por los tubos.

Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
n_1	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
n_1	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Tabla 6. Constantes K_1 y n_1 .

Los diafragmas son placas circulares situadas perpendicularmente a la dirección de los tubos y atravesados por éstos. Su misión es soportar los tubos,

manteniéndolos a la distancia fijada a lo largo de toda la longitud del intercambiador, y conducir el fluido que circula por el lado de la carcasa haciéndole recorrer un camino con trayectorias transversales y longitudinales, aumentando la turbulencia para que mejore el intercambio de calor. Para que el fluido circule en sentido longitudinal el diafragma tiene un corte o ventana. Dependiendo de cómo se realice el corte en el diafragma pueden ser: a) segmental, b) doble segmental y c) anillo y disco. Véase la figura siguiente:

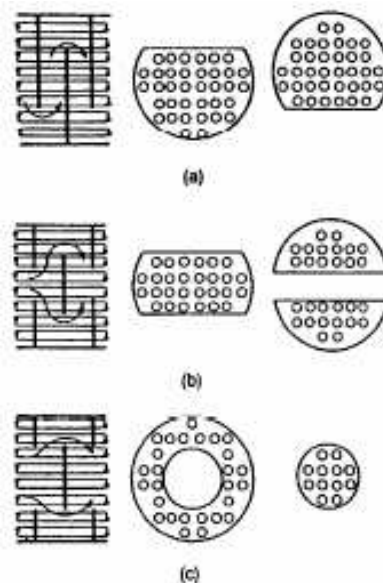


Fig. 2. Tipos de diafragmas.

La distancia entre diafragmas oscila entre 0,2 y 1 del diámetro de la carcasa, D_s . Un espacio pequeño dará altos coeficientes de transmisión de calor pero altas pérdidas de carga. La distancia óptima está entre 0,3 y 0,5 veces el diámetro de la carcasa.

El corte del diafragma empleado normalmente está comprendido entre el 15 y el 45%. El óptimo está en un corte del 20 al 25%, da buenas velocidades de transmisión de calor, sin una pérdida de carga excesiva.

La distancia entre el haz tubular y la carcasa debe ajustarse para reducir el paso por el exterior de los tubos. Esta distancia depende del tipo de intercambiador y de la tolerancia de la fabricación. A continuación se obtiene el diámetro de la carcasa eligiendo entre los diferentes tipos de cabezas para la misma, mediante la siguiente figura:

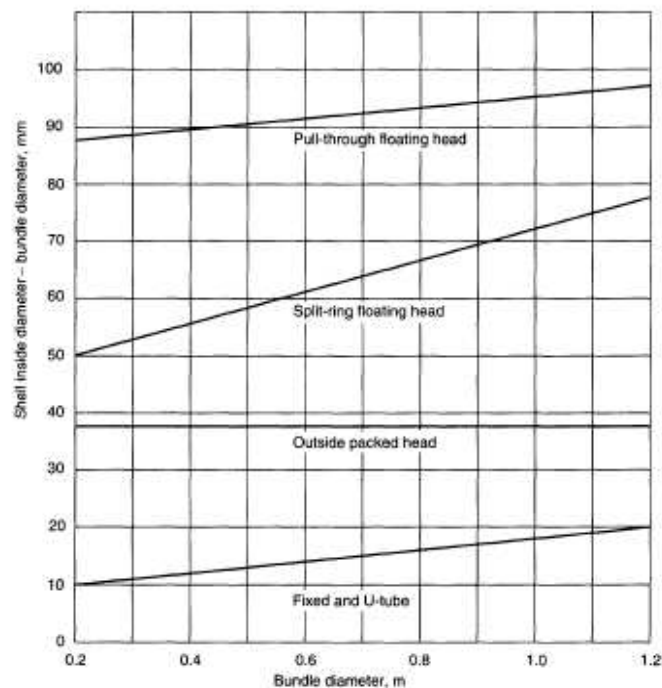


Fig. 3. Espaciado entre haz de tubos y carcasa.

3.1.1.- Coeficiente de transmisión de calor en el lado de los tubos.

Para régimen turbulento los datos de transmisión de calor se correlacionan mediante la ecuación siguiente:

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad \text{Ec. 15}$$

Nu, número de Nusselt ($h_i \cdot d_e / k_f$)

Re, número de Reynolds ($\rho \cdot u_t \cdot d_e / \mu$)

Pr, número de Prandtl ($c_p \cdot \mu / k_f$)

h_i , coeficiente de transmisión de calor interno, $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

d_e , diámetro equivalente, m. $d_e = d_i$ para tubos.

u_t , velocidad del fluido, m/s.

k_f , conductividad térmica del fluido, $W/m \cdot ^\circ C$.

μ , viscosidad del fluido a la temperatura másica del fluido, $Kg/m \cdot s$.

μ_w , viscosidad del fluido de la pared, $Kg/m \cdot s$.

c_p , calor específico del fluido, $J/Kg \cdot ^\circ C$.

Con frecuencia es conveniente correlacionar los datos de transmisión de calor en términos de un factor de transmisión de calor, j_h .

$$j_h = St \cdot Pr^{0,67} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} \quad \text{Ec. 16}$$

St, módulo de Stanton, $(h/(c_p \cdot \rho \cdot v))$

El uso de este factor facilita que se pueda representar en un mismo diagrama los datos para el flujo laminar y turbulento, figura 4, en el cual se representa j_h frente a Re, para distintos valores de la relación entre la longitud y el diámetro de la carcasa.

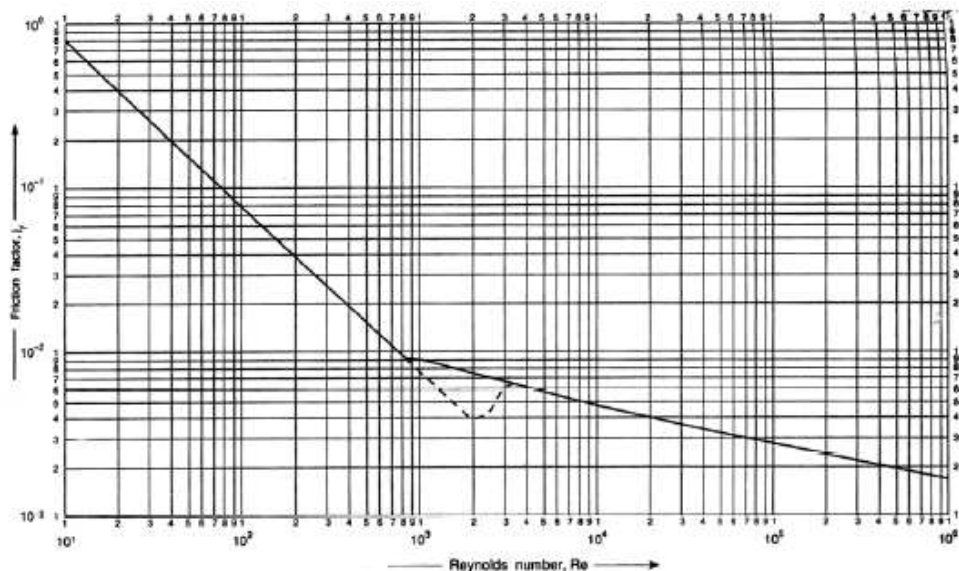


Fig. 4. Coeficiente de fricción en el lado del tubo.

La ecuación puede reordenarse de la forma:

$$Nu = j_h \cdot Re \cdot Pr^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} \quad \text{Ec. 17}$$

Nu, módulo de Nusselt.

Re, número de Reynolds.

Pr, número de Prandtl.

Con el módulo de Nusselt conocido, se podrá calcular mediante su definición el coeficiente de transmisión de calor para el lado de los tubos.

3.1.2.- Coeficiente de transmisión de calor del lado de la carcasa.

Usando el método Kern, la transmisión de calor en el lado de la carcasa y los factores de fricción se correlacionan de manera similar a como se hace en el flujo en los tubos, utilizando una velocidad de lado de la carcasa y un diámetro de carcasa hipotéticos. El procedimiento de cálculo del coeficiente de transmisión de calor del lado de la carcasa para un intercambiador de un solo pase por la carcasa es el siguiente:

1. Cálculo del área para el flujo cruzado A_s : Como el área de la sección de flujo variara a través del diámetro de la carcasa, las velocidades másicas y lineal se basan en el área máxima para el flujo cruzado, es decir en el ecuador de la carcasa. Así, para la hipotética fila de tubos situada en el ecuador de la carcasa:

$$A_s = \frac{(p_t - d_0) \cdot D_s \cdot l_B}{p_t} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde

p_t : paso de tubos (distancia entre ejes).

d_0 : diámetro externo del tubo

D_s : diámetro interno de la carcasa, m.

l_B : distancia entre diafragmas, m.

$(p_t - p_0)/p_t$: es la relación entre la distancia entre los tubos y la distancia total entre los ejes de los tubos.

2. Cálculo de la velocidad másica del lado de la carcasa G_s y de la velocidad lineal, u_s .

$$G_s = W_s / A_s \quad \text{Ec. 19}$$

$$u_s = G_s / \rho \quad \text{Ec. 20}$$

W_s : velocidad másica del fluido en el lado de la carcasa, Kg/s.

ρ : densidad del fluido en la carcasa, kg/m³.

3. Cálculo del diámetro equivalente (d_e) de la carcasa (diámetro hidráulico).

Para los tubos en disposición cuadrada, tenemos:

$$d_e = \frac{4 \left(p_i^2 - \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \right)}{\pi \cdot d_0} = \frac{1,27(p_i^2 - 0,785d_0^2)}{d_0} \quad \text{Ec. 21}$$

4. Cálculo del Re del lado de la carcasa.

$$\text{Re} = \frac{G_s \cdot d_e}{\mu} = \frac{u_s \cdot d_e \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Ec. 22}$$

5. Calcular el valor de j_h de la figura 5 a partir del Re, para el corte de diafragma seleccionado y calcular el coeficiente de transmisión de calor h_s , para el lado de la carcasa a partir de la ecuación:

$$Nu = \frac{h_s \cdot d_e}{k_f} = j_h \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr}^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad \text{Ec. 23}$$

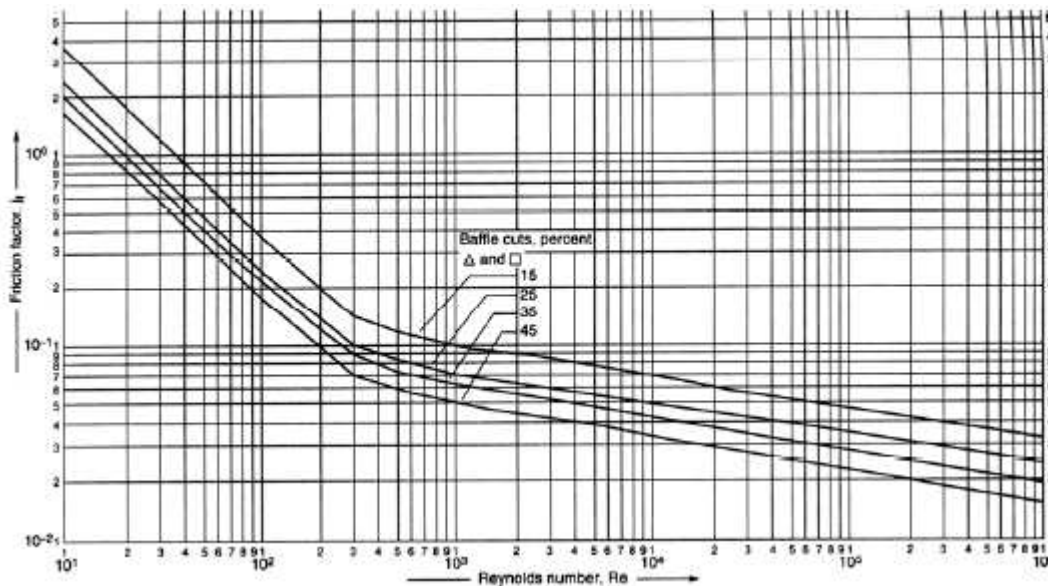


Fig. 5. Factores j_h para el lado de la carcasa, diafragmas segmentales.

3.1.3.- Cálculo de la pérdida de carga.

La pérdida de carga en los tubos se calcula mediante la ecuación 24.

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[8j_f \left(\frac{L}{d_i} \right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \frac{\rho \cdot u_t^2}{2} \quad \text{Ec. 24}$$

ΔP_t : caída de presión total del lado de los tubos, N/m².

N_p , número de pases por los tubos.

u_t : velocidad por el lado de los tubos, m/s

m' , para régimen laminar su valor es 0,25, para régimen turbulento 0,14.

L : longitud de un tubo.

El factor de fricción en los tubos se determina mediante la figura 4, a partir del número de Reynolds.

La caída de presión para el lado de la carcasa es:

$$\Delta P_s = 8j_f \cdot \left(\frac{D_s}{d_e}\right) \cdot \left(\frac{L}{l_B}\right) \cdot \frac{\rho \cdot u_s^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-0,14} \quad \text{Ec. 25}$$

donde

d_e , diámetro equivalente, m.

D_s , diámetro interno de la carcasa.

L , longitud del tubo.

l_B , distancia entre diafragmas.

L/l_B : es el número de veces que le flujo atraviesa el haz de tubos= (N_b+1) , donde N_b es el número de diafragmas.

u_s , velocidad lineal.

ρ , densidad del fluido.

j_f , factor de fricción, se determina a partir de la figura 5.

3.2.- Dimensiones de intercambiadores.

La forma de cálculo de los cambiadores de calor va a ser suponiendo primero el coeficiente global de transferencia de calor, U , fijando unas dimensiones de los tubos y las carcasas y calculando las propiedades de cada corriente en función de la temperatura, entonces se calculan los coeficientes individuales de calor del lado de la carcasa y los tubos y se podría calcular el U

real, entonces si $0\% < \frac{U_{calc} - U_{supuesto}}{U_{supuesto}} < 30\%$, si no ocurre esto se debe volver a

suponer uno nuevo.

Una vez obtenido U, se calcula la pérdida de carga y se comprueba que se está dentro de los límites establecidos, si no es así se deben fijar unas nuevas dimensiones de los tubos o carcasas.

Las etapas para el diseño de un intercambiador de carcasa y tubos quedan resumidas en la figura 6.

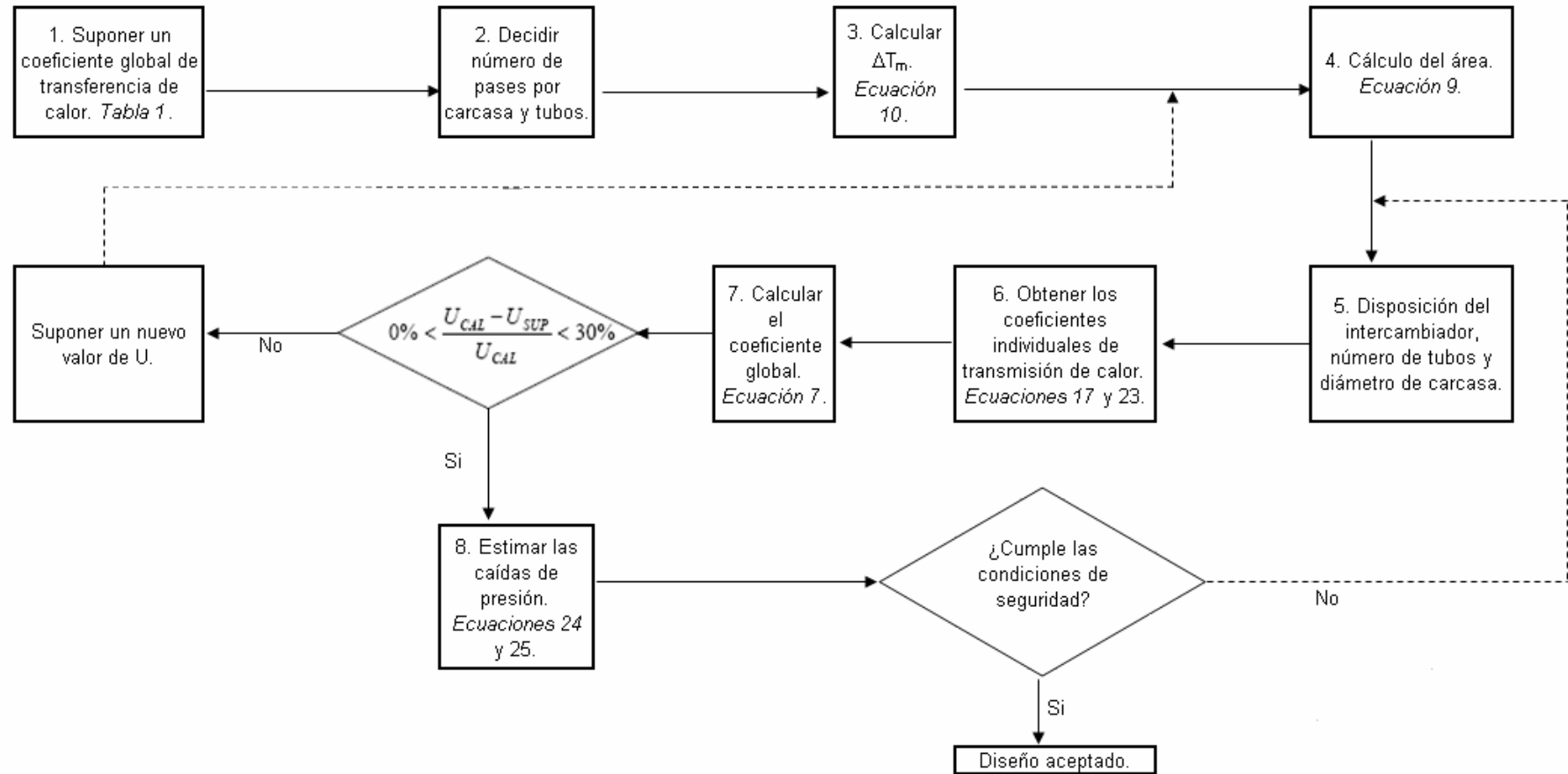


Fig. 6. Esquema de diseño para intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

Intercambiador de calor E-3:

Cambiador de calor E-3 (Enfriamiento del centrifugado).	
Propiedades del material de construcción	
Material	Acero inox.
Kw material	17,30 w/m.°C
σ material	1550,00 MPa
Parámetros de diseño	
T1	40,00 °C
T 2	3,00 °C
t2	18,00 °C
t1	-4,00 °C
P	1,00 atm
Tubos	
de/t	7,65
t	2,60 mm
de	20,00 mm
de	0,02 m
di	14,80 mm
Longitud	3,05 m
Longitud total	3,00 m
Propiedades físicas del fluido caliente	
ρ promedio	1125,00 kg/m ³
μ	3,00E-03 kg/m.s
Cp	1,00 kcal/kg°C
m	16393,44 kg/día
m	2049,18 kg/h
Q _{cedido}	75819,67 kcal/h
Q _{cedido}	88,04 kw
Kf	0,60 w/m°C
Propiedades físicas del fluido frío	
ρ promedio	1000,00 kg/m ³
μ	1,00E-03 kg/m.s
Cp	1,00 kcal/kg°C
m	10000,00 kg/h
kf	0,58 w/m.°C
Área de intercambio	
U	730,00 w/m ² .°C
ΔT _{ml}	13,10 °C
Ft	0,82
ΔT _m	10,74 °C
A	11,23, m ²
Disposición de los tubos	
Disposición	cuadrada
Por los tubos:	Lodo microalga
Por la carcasa:	líquido refrigerante-agua fría
Nº pases	1:02
Pt>	0,03 m
Área 1 tubo	0,19 m ²
nº tubos	59,00
diámetro del haz de tubos: Db= do(Nt/K1)^(1/n1)	

k1	0,16
n1	2,29
Db	0,27 m
Ds-Db	52,00 mm
Ds	032 m
Lt/Ds	9,40 Cumple
Coef. de TQ del lado de los tubos	
Sección tubos	3,14E-04 m ²
Tubos por paso	29,5 tubos
Sección total de paso	0,01 m ²
L/D	152,40
m	0,57 kg/s
Gs	1811,87 kg/m ² .s
vt	1,61 m/s
Re	12079,15
Pr	20,9
jh	4,00E-03
hi	5341,14 w/m ² .°C
Coef. de TQ del lado de la carcasa	
Corte Diafragma:	Segmental- Vertical
Espaciado entre diafr.:	20% o 2in, el mayor
pt	0,03 m
Ds	032 m
IB	0,10 m
As	0,01 m ²
Gs	246,18 kg/m ² .s
us	0,25 m/s
de	0,04 m
Re	10849,79
Pr	7,21
jh	0,08
hs	22063,93 w/m ² .°C
Coef. Global de TQ, Ucalc	
ho	22063,93 w/m ² .°C
hod (tabla)	3000,00 w/m ² .°C
kw	17,30 w/m.°C
hid	5000,00 w/m ² .°C
hi	5341,14 w/m ² .°C
do	0,02 m
di	0,01 m
1/Ucalc	1,08E-03
Ucalc	929,38 w/m ² .°C
Caída de presión en el lado de los tubos	
Np	1,00
ut	1,61 m/s
L	3,05 m
jf	4,00E-03
di	0,01 m
ΔPt	13263,25 N/m ²
ΔPt	13,26 kPa

Caída de presión en la carcasa	
Ds	0,32 m
de	0,04 m
L	3,05 m
l _B	0,10 m
us	0,25 m/s
jf	0,08
ΔPs	4470,63 N/m ²
ΔPs	4,5 kPa

Tabla 7. Características del cambiador E-3.

Para enfriar el agua de refrigeración se va a utilizar un equipo Chiller, que enfría el agua de forma rápida y con menor conste de energía que cualquier otro equipo de características similares. Los requerimientos del equipo son:

Equipo de frío Chiller	
Q _{cedido}	75819,67 kcal/h
Trabajo	25273,22 kcal/h
Potencia	29,35 kw

Tabla 8. Requerimientos del equipo Chiller.

4.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott, P., Operaciones unitarias en ingeniería química (2004). Ed. McGraw-Hill.
- Coulson and Richardson; Chemical engineering design (2005). Vol. 6. Ed. Elsevier.
- Ibartz, A., Barbosa-Cánovas, G. V., Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos (2005). Ed. Mundi-Prensa.
- Geankoplis, C.J.; Procesos de transporte y operaciones unitarias (1998). Ed. Cecsca.
- Perry, R.H., Green, D.W.; Manual del Ingeniero Químico, 7ª Edición (2001).
- COSTA, E.; CALLEJA, G.; OVEJERO, G.; DE LUCAS, A.; AGUADO, J. Y AGUINA, M. A.: "Ingeniería química". Vol. 4 (Transmisión de calor). Ed. Alhambra. Madrid 1986.

- Diseño de Equipos e Instalaciones. Asignatura de 5º curso de Ingeniería Química (Plan 1999). Universidad de Almería.

ANEJO 10:

TUBERÍAS

Y BOMBAS

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- DISEÑO DE LA RED DE TUBERÍAS.....	2
2.1.- Proceso de cálculo.....	3
2.1.1.- Diámetro óptimo.	3
2.1.2.- Pérdida de carga.	4
2.2.- Tuberías necesarias.	8
2.2.1.- Tuberías para líquidos:.....	8
2.2.2.- Tuberías para gases.....	10
3.- BOMBEO DE LÍQUIDO.....	11
3.1.- Tipos de bombas.	11
3.1.1.- Bombas centrífugas.....	13
3.2.- Cálculo de bombas:.....	15
4.- BIBLIOGRAFÍA.....	17

1.- INTRODUCCIÓN.

En este anejo se diseñan las tuberías y bombas necesarias dentro del sistema para la conducción de cada uno de los aportes requeridos por el cultivo de la microalga tanto en disolución como la biomasa concentrada y de los residuos producidos durante el proceso y en operaciones de limpieza. El sistema de conductos debe seleccionarse de manera que se minimice la energía necesaria para el bombeo, así como los costos energéticos derivados y las pérdidas por golpes.

Los parámetros más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de llevar a cabo el diseño de la red de tuberías son los siguientes:

- Acotar en la medida de lo posible la longitud de la tubería.
- Mantener, si es posible, constante el diámetro de las tuberías. Si fuese necesario modificarlo, utilizar manguitos de reducción o expansión según la necesidad.
- Utilización de los accesorios correctos.
- Reducir al mínimo el número de accesorios.
- Seleccionar el material adecuado de las tuberías y accesorios.
- Evitar el escape de productos de nuestro sistema de tuberías, mas aun cuando se trata de disolventes, fluidos inflamables, combustibles o tóxicos.

2.- DISEÑO DE LA RED DE TUBERÍAS.

Los materiales seleccionados para las tuberías del proceso son PVC para las líneas de líquidos, y acero al carbono para los gases de combustión, debido a que los cultivos no requieren un nivel alto de desinfección y esterilización. Los materiales escogidos para las conducciones de líquidos, permiten realizar limpiezas a través de ellas con ácidos e hipoclorito sódico con alto niveles de concentración. Son materiales económicos y funcionales.

2.1.- Proceso de cálculo.

2.1.1.- Diámetro óptimo.

Se debe determinar la sección de la tubería, para ello se estima una velocidad de circulación aproximada de 1 m/s para líquidos y de 10 a 30 m/s para gases. Con el caudal volumétrico y la siguiente ecuación se puede determinar la sección de transversal de paso del fluido, de donde despejar el diámetro interior de la misma.

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

Donde:

Q: caudal volumétrico, m³/s.

v: velocidad lineal, m/s.

s: sección de la tubería, m².

Si se considera una tubería circular, la sección viene expresada como:

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

D: diámetro de la tubería, m.

Por tanto considerando las ecuaciones 1 y 2 se obtiene el diámetro óptimo de tubería:

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

Una vez conocido el valor, se elegirá el diámetro normalizado que mejor se ajuste al comercial, según el material a emplear.

Diámetros nominales			
in	m, PVC	in	m, PVC
0,13	0,00	5,00	0,1270
0,25	0,0064	6,00	0,1524
0,38	0,0095	8,00	0,2032
0,50	0,0127	10,00	0,2540
0,75	0,0191	12,00	0,3048
1,00	0,0254	14,00	0,3556
1,25	0,0318	16,00	0,4064
1,50	0,0381	18,00	0,4572
2,00	0,0508	20,00	0,5080
2,50	0,0635	24,00	0,6096
3,00	0,0762	30,00	0,7620
3,33	0,0847	36,00	0,9144

4,00	0,1016		
------	--------	--	--

Tabla 1. Dimensiones de tubería de PVC comercial.

Por último, elegido el diámetro normalizado adecuado, se calculará la velocidad real de circulación por dicho tramo, según la ecuación siguiente:

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

2.1.2.- Pérdida de carga.

Para evaluar la pérdida de carga, se utiliza la ecuación de Bernouilli, anulando el término correspondiente en cada caso, si fuera necesario.

$$g(z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2}{2\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2\alpha_1} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F = W \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

g: aceleración de la gravedad, m/s².

(z₂ - z₁): carga estática, diferencia de alturas en la tubería m.

α: factor que relaciona la velocidad media y la velocidad eficaz. $\alpha = \frac{v_m^2}{v_e^2}$ (para

flujo turbulento es igual a 1),

v: velocidad del fluido, m/s.

ρ: la densidad del fluido, kg/m³.

P: presión, N/m².

ΣF: pérdidas de energía a través de la conducción debido al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería y a los accesorios en los tramos, J/kg.

W: trabajo de la bomba, J/kg.

La pérdida de energía ΣF en el sistema viene dada por la ecuación:

$$\Sigma F = \Sigma F_{tubo} + \Sigma F_{accesorios} \quad \text{Ec. 6}$$

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción, debida al rozamiento del fluido por las paredes y accesorios, se utiliza la ecuación de Fanning.

$$\Sigma F = 2 \cdot f_F \frac{(L + L_{eq}) \cdot v^2}{D} \quad \text{Ec. 7}$$

donde:

f_F : factor de fricción o de rozamiento, adimensional.

L: longitud de los tramos rectos, m.

L_{eq} : longitud equivalente debida a los accesorios, m.

v: velocidad media del fluido, m/s.

D: diámetro interno de la conducción, m.

Hay que tener en cuenta que en dicha ecuación se tienen en cuenta tanto las pérdidas mayores debidas a las longitudes de tubería, como las menores, debidas a los accesorios, como válvulas, codos, etc.

La longitud equivalente representa el tramo de tubería recta en el que se produce una pérdida de carga igual a la del accesorio. Su valor se expresa como múltiplo del diámetro interno de la tubería.

Fitting or valve	K, number of velocity heads	number of equivalent pipe diameters
45° standard elbow	0.35	15
45° long radius elbow	0.2	10
90° standard radius elbow	0.6-0.8	30-40
90° standard long elbow	0.45	23
90° square elbow	1.5	75
Tee-entry from leg	1.2	60
Tee-entry into leg	1.8	90
Union and coupling	0.04	2
Sharp reduction (tank outlet)	0.5	25
Sudden expansion (tank inlet)	1.0	50
Gate valve		
fully open	0.15	7.5
1/4 open	16	800
1/2 open	4	200
3/4 open	1	40
Globe valve, bevel seat		
fully open	6	300
1/2 open	8.5	450
Plug valve - open	0.4	18

Tabla 2. Pérdidas por fricción en accesorios de tubería.

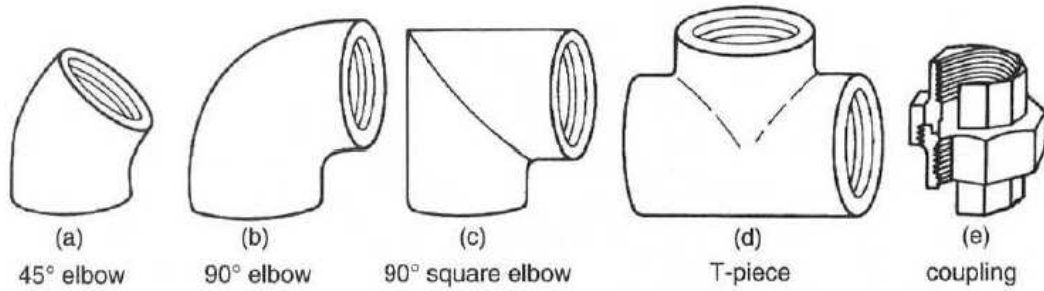


Tabla 3. Accesorios normalizados de tuberías: a) codo de 45°, b) codo de 90°, c) codo recto de 90°, d) entrada en rama de pieza en T, e) uniones y acoplamiento.

En otras ocasiones, para calcular el valor de ΣF se suele despreciar el cálculo del parámetro $\Sigma F_{\text{accesorio}}$ y se suele utilizar la expresión de ΣF_{tubo} , en la cual el valor de longitud equivalente, longitud de la conducción, se suele incrementar en $0,1 \cdot L$, con lo cual se tiene en cuenta la pérdida de carga en los accesorios presentes en la conducción.

Para obtener el valor del coeficiente de fricción, f_F se puede utilizar el siguiente diagrama, que relaciona el coeficiente de fricción frente al número de Reynolds con la rugosidad relativa (ϵ/D) como tercer parámetro, tanto para régimen laminar, de transición o turbulento.

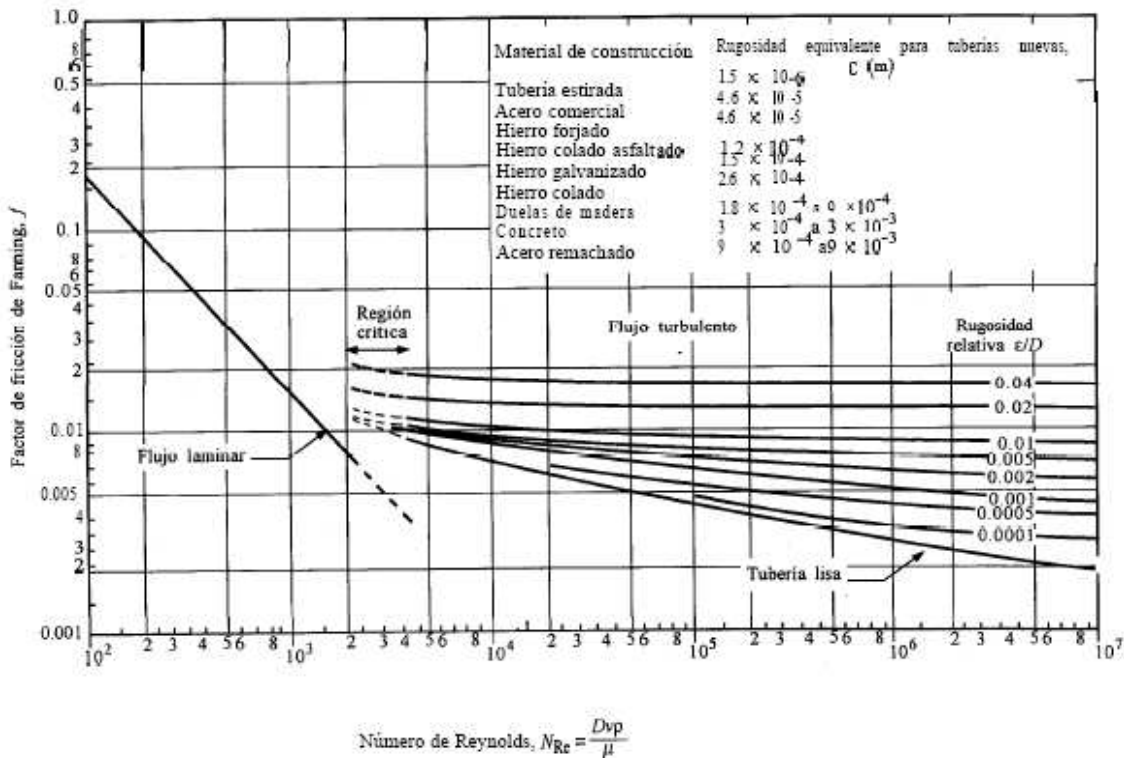


Tabla 4. Factores de fricción para fluidos en tubería.

El termino rugosidad relativa (ϵ/D) se puede estimar usando la figura 3, a partir del diámetro nominal de la tubería para distintos tipos de tubos.

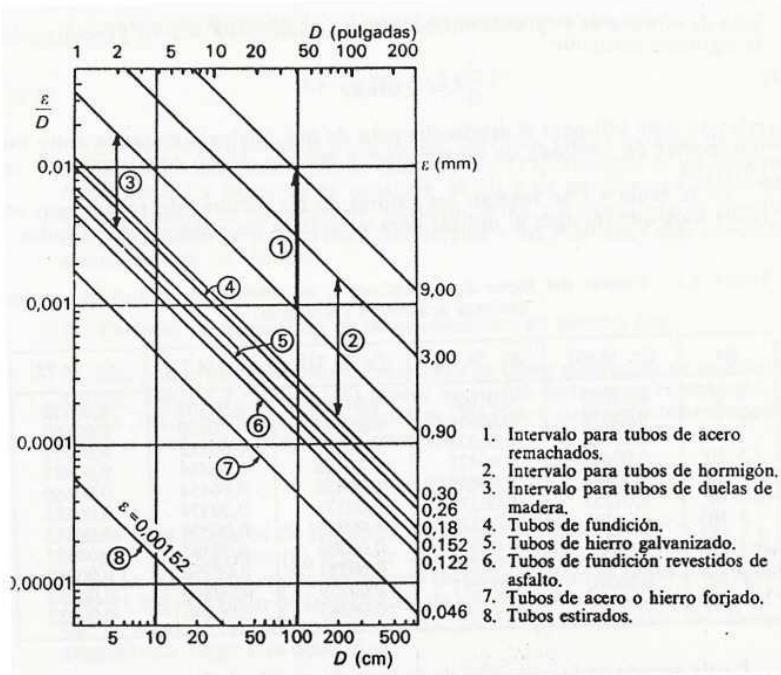


Tabla 5. Rugosidades relativas de varios tubos comerciales.

Otra forma de obtener el término de rugosidad relativa es mediante el parámetro de rugosidad (ϵ), que representa la altura promedio de las proyecciones de rugosidad de la pared para los distintos tipos de tubería.

Para el caso se toman como parámetros de rugosidad $\epsilon=0,000007$ m para tuberías de polipropileno y $\epsilon=0,000002$ para las tuberías de PVC.

Otra forma de obtener el coeficiente de fricción (f_F) es mediante la ecuación de Chen. Se trata de una ecuación empírica que obtiene el factor de rozamiento para cualquier rugosidad del tubo, pero únicamente válida para los regímenes de transición y turbulento.

$$\frac{1}{\sqrt{f_F}} = -4 \log \left\{ \frac{1}{3,7065} \left(\frac{\epsilon}{D} \right) - \frac{5,0452}{Re} \log \left[\frac{1}{2,8257} \left(\frac{\epsilon}{D} \right)^{1,1098} + \frac{5,8506}{Re^{0,8981}} \right] \right\} \quad \text{Ec. 8}$$

donde:

ϵ/D : rugosidad relativa, adimensional.

Re: número de Reynolds, que se calcula con la ecuación siguiente:

$$Re = \frac{D\rho v}{\mu} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

D: diámetro de la tubería, m.

v: velocidad del fluido, m/s.

ρ : densidad del fluido, kg/m³.

μ : viscosidad del fluido, kg/m.s.

2.2.- Tuberías necesarias.

2.2.1.- Tuberías para líquidos:

A continuación se muestran los resultados obtenidos según el modelo de cálculo explicado anteriormente:

Propiedades físicas		L1a	L1b	L2	L3a	L3b	L4a	L4b	L5a	L5b	L6
Q	m ³ /h	833,33	833,33	833,33	16,39	16,39	1,82	1,82	816,94	816,94	14,57
Q	m ³ /s	0,23	0,23	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,23	0,00
ρ líquido	kg/m ³	1000	1000	1000	1010	1010	1125	1125	1000	1000	1000
μ líquido	kg/m.s	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001
Caudal másico	kg/s	231,48	231,48	231,48	4,60	4,60	0,57	0,57	226,93	226,93	4,05
Selección de tubería											
Velocidad del líquido en la tubería	m/s	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50
Sección de la tubería	m ²	0,23	0,23	0,23	0,01	0,01	0,00	0,00	0,23	0,23	0,01
Diámetro de la tubería	m	0,54	0,54	0,54	0,11	0,11	0,04	0,04	0,54	0,54	0,10
Longitud de la tubería	m	10,00	925,00	925,00	2,50	18,00	2,00	33,00	2,00	100,00	55,00
Diámetro nominal de tubería comercial	m	0,61	0,61	0,61	0,10	0,10	0,04	0,04	0,61	0,51	0,10
velocidad real	m/s	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50
Perdida de carga											
Diferencia de alturas = (Z ₂ - Z ₁)	m	-10,00	0,40	-0,01	5,65	0,50	-0,50	3,50	1,00	0,00	-0,50
Material de la tubería		PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Valvulas de globo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
valvulas de bola		1,00	40,00	1,00	1,00	0,00	1,00	6,00	1,00	0,00	1,00
Codos 90°		0,00	63,00	45,00	2,00	2,00	1,00	8,00	2,00	1,00	1,00
T		3,00	30,00	40,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00
Rugosidad		2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06	2,00E-06
Rugosidad relativa, ε/D		3,28E-06	3,28E-06	3,28E-06	1,97E-05	1,97E-05	5,2E-05	5,25E-05	3,3E-06	3,94E-06	2E-05
Leq		120,70	2976,37	2502,71	9,45	7,62	2,11	26,97	56,69	19,05	5,64
Re		609600	609600	609600	25654	25654	7144	7144	609600	508000	50800
f, factor de rozamiento		3,19E-03	3,19E-03	3,19E-03	6,11E-03	6,11E-03	8,46E-03	8,46E-03	3,19E-03	3,30E-03	5,23E-03
Σf		1,37	40,84	35,88	0,36	0,77	0,46	6,66	0,61	1,55	1,56

Tabla 6. Diseño de las tuberías de PVC.

2.2.2.- Tuberías para gases.

En el caso de las tuberías para gases, se sigue el mismo procedimiento que antes. Se van a utilizar tuberías de polipropileno.

Para la pérdida de carga se utilizará la ecuación de Weymouth, que se expresa a continuación:

$$\frac{M}{2RT}(P_1^2 - P_2^2) = 2f_m \frac{G^2 L}{D} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

M: peso molecular del gas, kg/kmol.

R: cte. de los gases, 8,314 kJ/kmol.K.

T: temperatura del gas, K.

P_1, P_2 : presiones de entrada y salida de cada tramo, Pa.

f_m : factor de fricción con unas condiciones medias entre la entrada y la salida del tubo.

G: velocidad, m/s.

L: longitud total del tubo, incluidos los accesorios, m.

D, diámetro interno de la tubería, m.

La ecuación de Weymouth es válida sólo para régimen isoterma (o con una caída de temperaturas entre el principio y el final del tramo inferior al 10%), y velocidad del gas igual o inferior a 35 m/s.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Propiedades físicas:		L9	L10	L11
Caudal másico de gas	kg/s	0,64	0,64	0,64
Presión	atm	1,00	1,00	1,30
Temperatura	K	453,00	303,00	303,00
Densidad	kg/m ³	0,78	1,17	1,52
Caudal volumétrico de gas	m ³ /s	0,81	0,54	0,42
Selección de tubería:				
Velocidad del gas en la tubería	m/s	30,00	30,00	30,00
Sección de la tubería	m ²	0,03	0,02	0,01
Diámetro de la tubería	m	0,19	0,15	0,13
Longitud de la tubería	m	3,00	1,00	950,00
Material de la tubería		Acero al carbono	Acero al carbono	PVC
Diámetro nominal de tubería comercial	m	0,20	0,16	0,15
velocidad real del gas	m/s	25,92	27,09	22,97
% CO ₂	10	10,00	10,00	10,00

Tabla 7. Diseño de las tuberías de polipropileno para gases.

La pérdida de carga en estas tuberías es muy pequeña, tanto es así que se puede decir que la presión permanece constante en todos los tramos.

3.- BOMBEO DE LÍQUIDO.

Cuando un fluido no posee la energía suficiente para vencer las diferencias de altura, velocidad o presión que se requieran, es necesario comunicársela con los aparatos necesarios que, en el caso de líquidos, son las bombas, que suministran la energía o fuerza impulsora que incrementa la energía mecánica del fluido. La forma en que se impulsa al líquido puede ser variada, pero lo general es que sea por desplazamiento volumétrico, conseguido mecánicamente, o por la acción de una fuerza centrífuga.

Los criterios de selección del tipo de bomba son los siguientes:

- Tipo de líquido que se va a impulsar: densidad, viscosidad, presión de vapor, contenido en sólidos propiedades corrosivas, abrasivas y lubricantes, etc.
- Condiciones de bombeo: caudal, presión de salida presión de entrada, temperatura y caudal, etc.
- La presencia de sólidos pueden acelerar la erosión del material o tener tendencia a depositarse a aglomerarse. En estos casos, todas las cavidades internas de la bomba deben tener dimensiones adecuadas, procurando que no existan zonas muertas, ni proximidad excesiva entre partes fijas y móviles en caso de que sólidos sean abrasivos.

3.1.- Tipos de bombas.

La principal clasificación de las bombas es: según **el funcionamiento** en que se base, teniendo en este caso:

- 1) **Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas**, en las que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de

las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas. En caso de poder variar el volumen máximo de la cilindrada se habla de bombas de volumen variable. Si ese volumen no se puede variar, entonces se dice que la bomba es de volumen fijo. El líquido es confinado en un espacio de la bomba, donde se le comunica la energía, siendo desplazado a continuación hasta la zona de expulsión. Proporcionan una cantidad constante de líquido en cada embolada o revolución de la parte móvil, sin que el líquido pueda circular libremente a través del cuerpo de la bomba. No pueden funcionar con la salida cerrada. A su vez este tipo de bombas pueden subdividirse en:

- Bombas de émbolo alternativo, en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos ejemplos de este tipo de bombas son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba de pistones de accionamiento axial.
- Bombas volumétricas rotativas o rotoestáticas, en las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina. Algunos ejemplos de este tipo de máquinas son la bomba de paletas, la bomba de lóbulos, la bomba de engranajes, la bomba de tornillo o la bomba peristáltica.

2) **Bombas rotodinámicas**, en las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. El líquido no necesita ser confinado

en espacios interiores, puede circular libremente a través de la bomba. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas turbomáquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:

- Radiales o centrífugas, cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor. El líquido recibe la energía por la acción de una fuerza centrífuga que le comunica un disco giratorio a gran velocidad.
- Axiales, cuando el fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro.
- Diagonales o helicocentrífugas cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

Según el tipo de accionamiento, tenemos:

- 1) **Electrobombas**: Genéricamente, son aquellas accionadas por un motor eléctrico, para distinguirlas de las motobombas, habitualmente accionadas por motores de combustión interna.
- 2) **Bombas neumáticas**: son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.
- 3) **Bombas de accionamiento hidráulico**, como la bomba de ariete o la noria.
- 4) **Bombas manuales**: Un tipo de bomba manual es la bomba de balancín.

3.1.1.- Bombas centrífugas.

Se decide utilizar bombas centrífugas, ya que son de gran versatilidad, bajo coste, y fácil diseño, operación y mantenimiento.

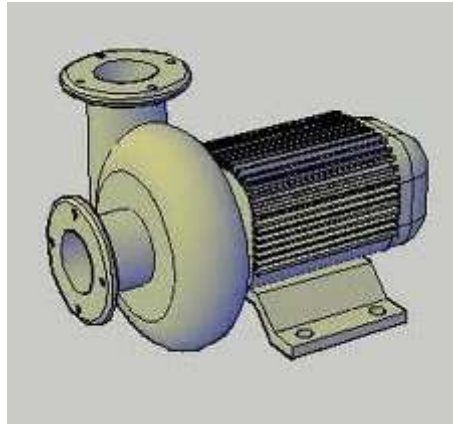


Tabla 8. Bomba centrífuga.

Una bomba centrífuga consiste, en su forma más simple, en un propulsor que gira dentro de una armadura. El líquido entra axialmente a la bomba por la línea de aspiración y penetra hasta el centro de rotación del propulsor, de donde se distribuye de manera radial. Al hacerlo así, se introduce en los canales, entre las paletas, y fluye por dichos canales hacia su extremo, situado en la periferia del impulsor. Aquí se recolecta en la cámara espiral y fluye hacia la descarga de la bomba.

La rotación del impulsor imparte una carga de alta velocidad al fluido, que se transforma en carga de presión a medida que el líquido pasa a la cámara espiral y de aquí a la descarga. Algunas unidades se construyen como bombas de dos etapas o de etapas múltiples.

Son las más usadas en la industria de procesado por las siguientes ventajas:

- Son de construcción sencilla y barata. Pueden, por tanto, construirse en una amplia gama de materiales.
- No tienen válvulas.
- Operan a una velocidad elevada, y por tanto, se pueden acoplar directamente a un motor eléctrico. En general, en cuanto mayor es la velocidad, menor es la bomba y el motor para un servicio determinado.
- Proporciona un caudal estacionario.
- Los costes de mantenimiento son menores que para cualquier otro tipo de bomba.
- No se estropea si se bloquea la línea de descarga.

- Tiene un tamaño mucho menor que el de otras bombas para igual capacidad. Pueden, por tanto, construirse en una unidad aislada con el motor y sumergida en el tanque de succión.
- Operan fácilmente con líquidos que contienen elevadas proporciones de sólidos en suspensión.
- Pueden proporcionar caudales variables desde algunos litros /min. Hasta varios miles de m³/min.
- Son resistentes a ambientes desfavorables. Por lo que, en el caso de que se tuvieran que colocarse a la intemperie, no perturbaría en funcionamiento.

3.2.- Cálculo de bombas:

Las bombas operan casi siempre a velocidad constante, por lo que el caudal suministrado, denominado capacidad de la bomba, depende solamente, para una misma bomba, de las presiones de aspiración y descarga.

Para calcular el trabajo que tendrá que realizar cada una de las bombas que se habrán de instalar, se aplica la ecuación de Bernouilli entre el punto final (2) y el inicial (1):

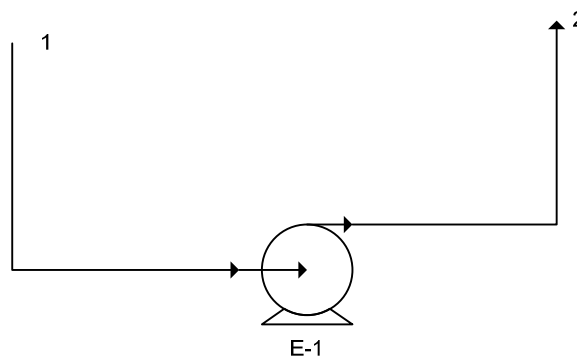


Tabla 9. Esquema para el diseño de bombas.

$$g(z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2}{2\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2\alpha_1} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F = W \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

g: aceleración de la gravedad, m/s².

(z₂ - z₁): carga estática, diferencia de alturas en la tubería m.

α : factor que relaciona la velocidad media y la velocidad eficaz. $\alpha = \frac{v_m^2}{v_e^2}$ (para

flujo turbulento es igual a 1),

v: velocidad del fluido, m/s.

ρ : densidad del fluido, kg/m³.

P: presión, N/m².

ΣF : pérdidas de energía a través de la conducción debido al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería y a los accesorios en los tramos, J/kg.

W: trabajo de la bomba, J/kg.

Partiendo de los datos obtenidos en el anterior apartado se procede al cálculo de las bombas necesarias.

Para obtener la potencia teórica necesaria se utiliza la ecuación siguiente:

$$P = \frac{m \cdot W}{R} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

P: potencia teórica de la bomba, w.

m: caudal másico de flujo, kg/s.

W: trabajo de la bomba, J/kg.

R: rendimiento de la bomba (80%).

A continuación se muestra una tabla con las bombas utilizadas y sus características:

BOMBAS:		B-1	B-2	B-3	B-4
Parámetros					
Q	m ³ /h	16,39	1,82	816,94	833,33
Q	m ³ /s	0,46E-2	0,051E-2	0,23	0,23
Caudal másico	kg/s	4,60	0,57	226,93	231,41
Longitud tubería de aspiración	m	2,50	2,00	2,00	10,00
Longitud tubería de impulsión	m	18,00	33,00	100,00	925,00
Diámetro de tubería	m	0,10	0,04	0,61	0,61
Σf aspiración	J/kg	0,36	0,46	0,61	1,37
Σf impulsión	J/kg	0,77	6,66	1,55	40,84
altura tramo de aspiración	m	-5,65	-0,50	1,00	-10,00
altura tramo de impulsión	m	0,50	3,50	0,00	0,40
Energía potencial	J/kg	60,31	39,19	9,81	102,02
Energía cinética	J/kg	0,13	0,13	0,50	0,50
Energía por fricción	J/kg	1,13	7,12	2,16	42,21
W trabajo a realizar	J/kg	61,56	46,43	12,47	144,73
Rendimiento de la bomba		0,80	0,80	0,80	0,80

Potencia necesaria de la bomba	w	353,92	33,04	3537,22	4187,44
Potencia necesaria de la bomba	c.v.	0,48	0,05	4,81	56,90

Tabla 10. Diseño de las bombas de la instalación.

4.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- Geankoplis, C.J.; Procesos de transporte y operaciones unitarias (1998). EdCecsa.
- Levenspil, O.; Flujo de fluidos e intercambio de calor (1996)Ed. Reverte, S.A.
- Costa Novella, E; Ingeniería Química: Volumen 4: Flujo de fluidos (1984). Ed. Alhambra.
- Coulson and Richardson; Chemical engineering desing (2005). Vol. 6. Ed. Elsevier.
- Reza garcía, C; Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. McGraw-Hill.

ANEJO 11:

**INSTRUMENTACIÓN
Y CONTROL**

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- CONTROL DEL PROCESO.....	2
2.1.1.- Modos de control.....	2
2.1.2.- Tipos de controladores.....	3
2.2.- DEFINICIÓN DEL MODELO.....	8
3.- INSTRUMENTACIÓN.....	12
3.1.- Reactores.....	12
3.2.- Caldera y equipos adicionales a la captación del CO ₂	13
3.3.- Cabezal de riego.....	13
3.4.- Bombas.....	13
3.5.- Cambiadores de calor.....	13
3.6.- Cámara de frío.....	13
3.7.- Diagrama de Instrumentación.....	14
4.- BIBLIOGRAFÍA.....	16

1.- INTRODUCCIÓN.

El control en la planta es un punto destacado a llevar a cabo, ya que sin él no se podrían desarrollar las actividades que se llevan en ella para alcanzar su objetivo de producción. Hay distintos puntos de control a tener en cuenta en toda la planta, como es el caso de los equipos y las entradas y salidas de los efluentes de estos. En este punto se va a desarrollar el control del pH de los fotobiorreactores, que es uno de los puntos más importantes a señalar en la producción de microalgas. El sistema a desarrollar, se ha puesto a punto en La Estación Experimental de La Fundación Cajamar, en donde se utiliza un control PI y un sistema Feed Forward (control anticipativo).

2.- CONTROL DEL PROCESO.

2.1.1.- Modos de control.

De manera general, las estrategias de control pueden clasificarse en dos categorías según se tengan en cuenta o no las perturbaciones sobre el sistema. Cuando únicamente se utiliza la medida de la variable a controlar se denominan estrategias “feedback” (o de realimentación, como se observa en la Figura 1). Cuando se miden las posibles perturbaciones sobre el proceso para asignar acciones correctivas se denominan estrategias “feedforward” (o control por adelanto, como se observa en la Figura 2).

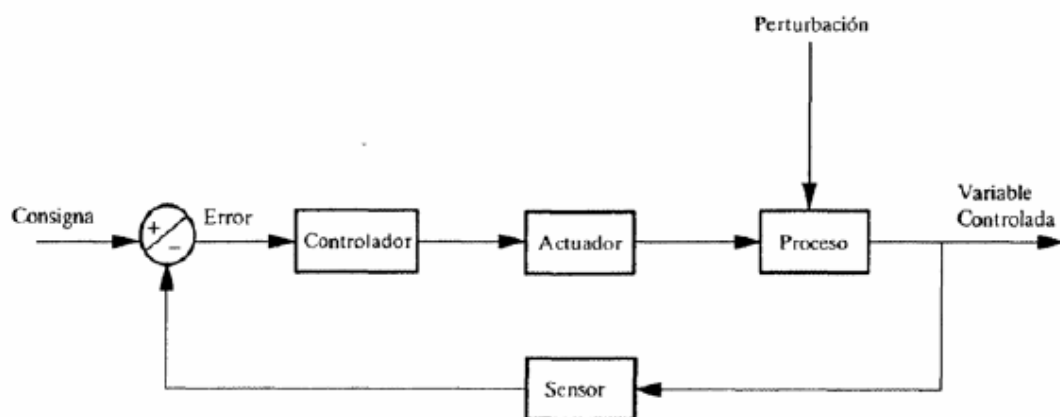


Fig. 1. Esquema de un sistema de control por realimentación.

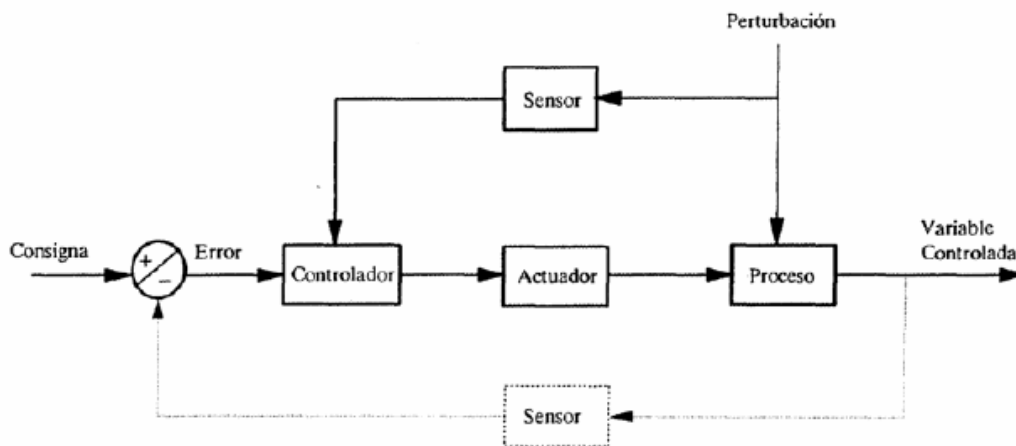


Fig. 2. Esquema de un sistema de control por adelantado o anticipativo.

En la Tabla 1 se resumen las ventajas e inconvenientes de ambas estrategias. En la práctica, disponer de un control adecuado implicaría utilizar ambas estrategias. La razón del amplio número de aplicaciones de control por realimentación (90% del total) se debe a que las perturbaciones no son medidas y que no se conoce con exactitud el modelo del proceso.

Feedback	Feedforward
- No importa el origen o tipo de las perturbaciones.	- No todas las fuentes de variación pueden ser medidas.
- No es necesario un modelo exacto del proceso.	- Es necesario el conocimiento de un modelo exacto del proceso (no ocurre en la práctica generalmente).
- No es control perfecto, ya que la acción correctiva no se realiza hasta que la perturbación haya afectado al proceso.	- Es control perfecto, ya que el efecto de las perturbaciones es corregido simultáneamente a su aparición y las acciones de control son previstas en base al conocimiento de la dinámica de las mismas.
Acción a posteriori	Acción a priori

Tabla 1. Comparación entre Feedback y Feedforward.

2.1.2.- Tipos de controladores.

2.1.2.1.- Control Todo-Nada.

Los controladores todo-nada son los sistemas de control más básicos. Su funcionamiento es simple, ya que únicamente calculan el error $(e(t))$ como la diferencia que hay entre la referencia $(r(t))$ y la señal de salida del sistema o variable medida $(y(t))$. En función del valor del error, el controlador envía la

señal de control ($u(t)$), que normalmente es abrir o cerrar una válvula. El esquema de funcionamiento de un controlador de este tipo se muestra en la figura siguiente:



Fig. 3. Esquema de funcionamiento de un control Todo-Nada.

En el control todo-nada, la señal de control ($u(t)$) sólo puede tomar dos valores: 0 (válvula cerrada) ó 1 (válvula abierta). De aquí es de donde toma el nombre este tipo de control, ya que 1 representa todo y 0 representa nada. En el caso de cultivos de microalgas la referencia o setpoint es el pH óptimo en el que debe mantenerse el cultivo ($\text{pH}=8$) y la variable medida es el pH del cultivo en cada instante. La diferencia entre estos dos valores es el error, y en función del valor del error el controlador todo-nada envía la señal de control para abrir o cerrar la válvula de CO_2 .

- Si $\text{pH} > 8 \rightarrow e(t) < 0 \rightarrow u(t) = 1 \rightarrow$ Abre válvula \rightarrow Inyecta CO_2
- Si $\text{pH} < 8 \rightarrow e(t) > 0 \rightarrow u(t) = 0 \rightarrow$ Cierra válvula \rightarrow No inyecta CO_2

Inherente a este tipo de control es la aparición de un ancho de banda en el que se mantiene la variable deseada, y cuyo ancho depende de la dinámica del sistema y del actuador utilizado. De esta forma, no es posible alcanzar el valor deseado de la variable a controlar sino que su valor oscila alrededor del setpoint, dentro del ancho de banda del sistema.

2.1.2.2.- Control Proporcional-Integrado-Derivativo (PID).

Estos controladores se denominan así porque están formados por tres componentes o acciones: Proporcional, Integral y Derivativa. En este tipo de controladores la señal de error es utilizada por cada una de las tres componentes del controlador PID, y las tres señales sumadas, componen la

señal de control ($u(t)$) que el controlador utiliza para gobernar al actuador, tal y como se observa en la figura siguiente.

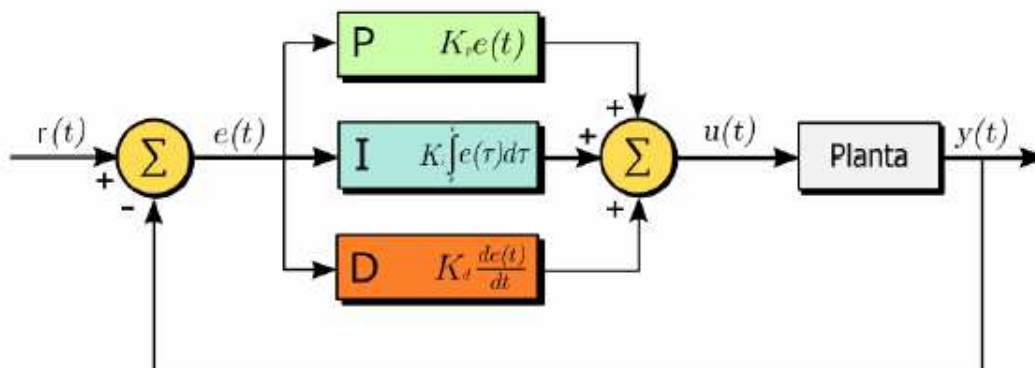


Fig. 4. Esquema representativo de un controlador PID.

La diferencia entre el control PID y el control todo-nada reside básicamente en que en el control PID, la señal de control toma valores comprendidos entre 0 y 1, que representan el porcentaje que se debe de abrir la válvula para corregir el error y así alcanzar la referencia. La señal de control se calcula de la siguiente forma:

$$u(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \cdot \int_0^t e(t) dt + k_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ec. 1}$$

Que también puede expresarse como:

$$u(t) = kc \left[e(t) + \frac{1}{Ti} \cdot \int_0^t e(t) dt + Td \cdot \frac{de(t)}{dt} \right] \quad \text{Ec. 2}$$

Donde

$$k_p = kc \quad \text{Ec. 3}$$

$$k_i = \frac{kc}{Ti} \quad \text{Ec. 4}$$

$$k_d = kc \cdot Td \quad \text{Ec. 5}$$

Como se observa en las ecuaciones anteriores, la acción proporcional, como su nombre indica, determina una respuesta proporcional al error actual en K_c veces tal y como se muestra en la figura 5. Pero normalmente esta acción proporcional no es capaz de alcanzar la referencia por sí misma, produciendo lo que se denomina como offset, también conocido como error de estado estacionario o error en régimen permanente.

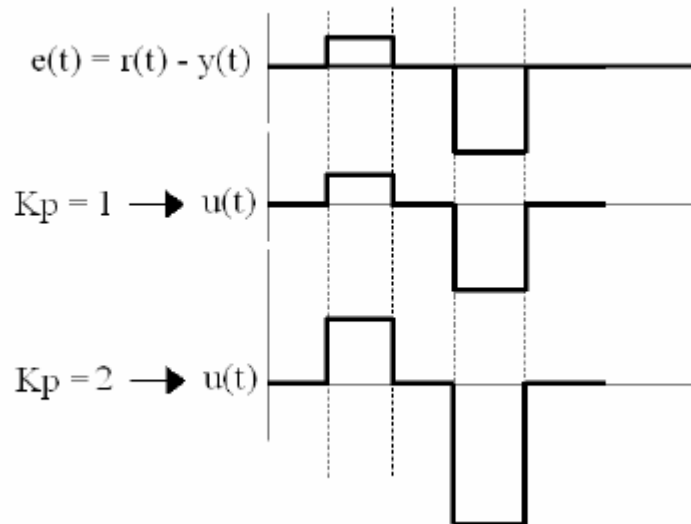


Fig. 5. Ejemplo en la respuesta de un controlador con acción proporcional.

La acción integral genera una corrección proporcional a la integral del error, o sea que en cada instante va integrando el error y lo va sumando a la señal de control (ver figura 6), por lo que esta acción es capaz de evitar el offset. Sin embargo, añade lentitud al sistema, incrementando el tiempo requerido para alcanzar el valor de consigna deseado.

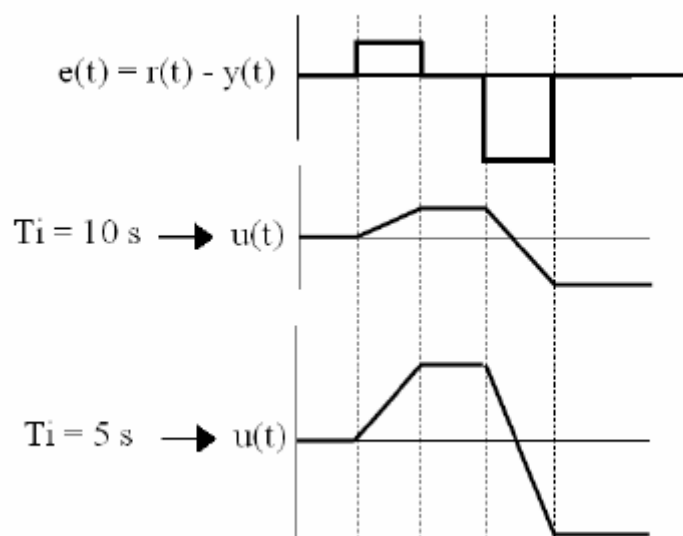


Fig. 6. Ejemplo en la respuesta de un controlador con acción integral.

Finalmente la acción derivativa genera una corrección proporcional a la derivada del error (ver figura 7), lo que ayuda a alcanzar la referencia en un tiempo menor, pero a su vez también amplifica el ruido de la señal.

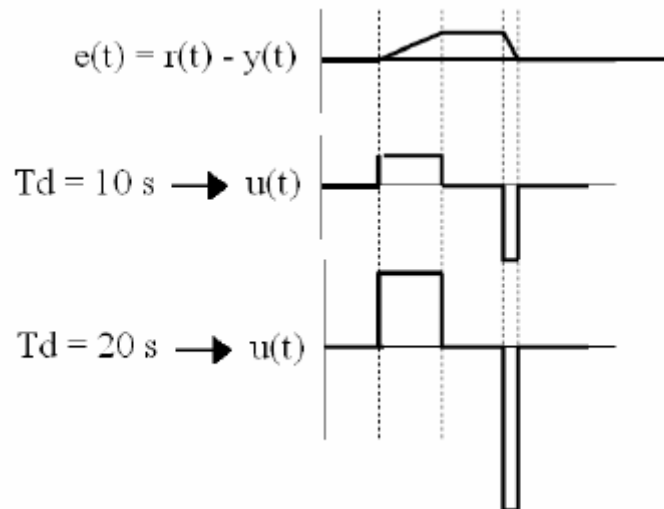


Fig. 7. Ejemplo de la respuesta de un controlador con acción derivativa.

2.1.2.3.- Control PI con Feed Forward

El controlador PI (Proporcional-Integral) es la mejor opción para intentar mantener el pH en el valor de consigna, con el mínimo error respecto al óptimo del cultivo, y obtener así una mejora del crecimiento de los cultivos. Se ha descartado la acción derivativa para simplificar el controlador, y debido a que la variable medida (pH) es ruidosa, por lo que acción derivativa la amplifica este ruido y a su vez el error que genera, siendo esto perjudicial para la vida útil del actuador. En el mismo sentido, se ha optado por un control anticipativo para minimizar las desviaciones respecto al valor de consigna en presencia de perturbaciones y mantener así el sistema en su óptimo (ver figura 8). Este sistema de control permite considerar, además de las dinámicas del sistema relacionadas con su física, la influencia de la radiación en el comportamiento biológico del sistema. Esto repercute en una mejora considerable del control de pH y menores pérdidas de CO_2 .

El control anticipativo o Feed Forward, es una herramienta de control que se utiliza para tener en cuenta las perturbaciones de un sistema anticipadamente y mejorar el control, siempre y cuando estas perturbaciones sean conocidas y medibles. En este caso la bondad del controlador es función directa de la adecuación del modelo del sistema. En el caso de los cultivos de microalgas, el comportamiento del pH viene determinado principalmente por las

inyecciones de CO_2 , pero los niveles de radiación también influyen en el comportamiento del pH, por lo que es necesario considerar esta última variable como una perturbación del sistema. De esta forma, conociendo el efecto que tendrá la radiación sobre el sistema es posible alimentarla al sistema de control PI anticipadamente y de ese modo el controlador corregirá los efectos producidos por la perturbación antes de que alteren al sistema.

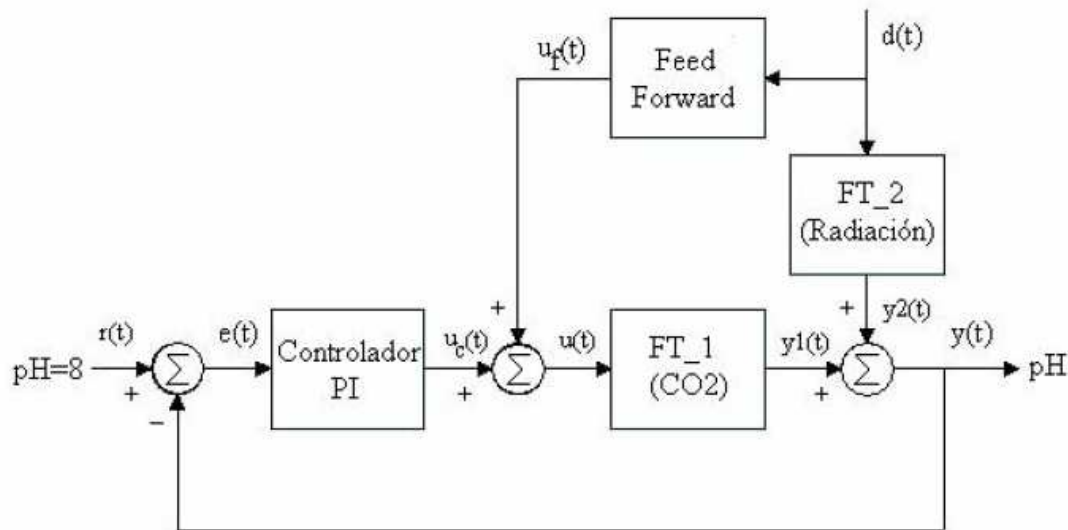


Fig. 8. Esquema del controlador PI con Feed Forward seleccionado.

2.2.- DEFINICIÓN DEL MODELO.

El pH de un cultivo de microalgas se ve influenciado principalmente por dos fenómenos. Por un lado el aporte del CO_2 como nutriente provoca la formación de ácido carbónico y éste un descenso del pH en el cultivo. Por otro lado, las microalgas realizan la fotosíntesis en presencia de radiación solar consumiendo el CO_2 y generando O_2 , lo que provoca una subida paulatina del pH. El consumo de nitratos también supone una alcalinización del pH del medio.

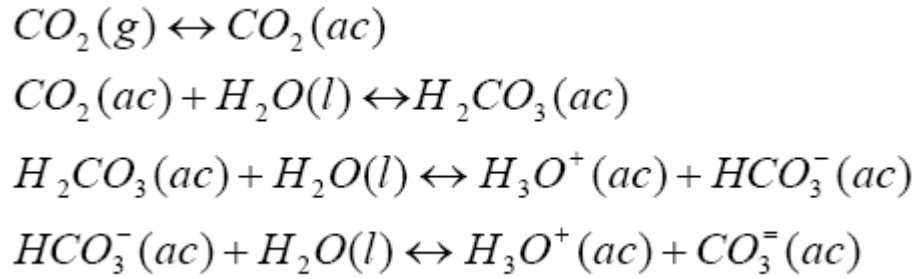


Fig. 9. Disolución de CO₂ en agua (Tampón Carbonato-Bicarbonato).

Para mantener el crecimiento máximo y por lo tanto maximizar el rendimiento de los cultivos se requiere que ciertas variables del entorno sean mantenidas en los valores óptimos. Entre ellas, el pH es una de las variables críticas, la cual tiene que ser regulada adecuadamente. Esto se lleva a cabo por la interacción con el sistema amortiguador de bicarbonato a través de la inyección de una corriente de CO₂. La actividad biológica produce un descenso en el carbono inorgánico disuelto que es consumido para el crecimiento microalgal, forzando un desplazamiento en el equilibrio del tampón carbonato-bicarbonato (Figura 9) y resultando un incremento del pH. La inyección de CO₂ como acción reguladora tiene dos objetivos: en primer lugar, se produce una acidificación del medio de cultivo recuperando la capacidad del tampón y llevando el pH al punto óptimo de equilibrio para la microalga, y en segundo lugar proporciona una fuente de carbono inorgánico indispensable para el crecimiento.

El control del pH es un problema no lineal que puede ser linealizado bajo ciertas circunstancias. Para ello el modelo que se va a utilizar relaciona el pH con la inyección de CO₂ y la radiación solar a través de dos funciones de transferencia de primer orden en la variable *s* de Laplace:

$$V_{pH} = \underbrace{\frac{K_1}{(1 + \tau_1 \cdot s)}}_{FT1_1} \cdot \underbrace{\frac{K_{1_2} \cdot \omega_n^2}{(s^2 + 2 \cdot \delta \omega_n \cdot s + \omega_n^2)}}_{FT1_2} \cdot e^{-m_1 \cdot s} \cdot V_{CO_2} + \underbrace{\frac{K_2}{(1 + \tau_2 \cdot s)}}_{FT2} \cdot VI$$

donde

V_{pH} : pH del cultivo.

V_{CO_2} : porcentaje de apertura de la válvula de CO_2 .

VI: valor de la radiación global.

La primera función de transferencia, que relaciona el pH con el CO_2 inyectado (FT1) se divide a su vez en otras dos funciones de transferencia. Por un lado FT1_1 que es de primer orden y que representa la dinámica principal del sistema, y por otro lado FT1_2 que es de segundo orden y representa la pequeña dinámica oscilatoria que se observa sobre la dinámica principal debido a la recirculación que se produce en los fotobiorreactores. Como el sistema tiene retardo, también se debe añadir la función del retardo ($e^{-tr} 1-s$). La función de transferencia FT2 relaciona el efecto de la radiación solar en el pH y también se trata de una función de transferencia de primer orden, pero en este caso sin retardo, ya que este es despreciable.

Las funciones de transferencia de primer orden tienen como parámetros la ganancia estática (K) y la constante de tiempo (τ). La ganancia estática del sistema proporciona una medida de la amplitud de la respuesta del sistema en función de la amplitud de la entrada al mismo. Es decir, es el cociente entre el cambio experimentado por la salida una vez alcanzado el régimen permanente final y el cambio efectuado en la variable de entrada (magnitud del escalón). La constante de tiempo es el tiempo que tarda el sistema en alcanzar el 63% del valor final de la señal de salida desde que comienza a variar el sistema frente a la entrada en escalón. Es una medida de la rapidez de respuesta del sistema a una señal escalón. La función retardo tiene como parámetro tr que es el tiempo de retardo.

En las funciones de transferencia de segundo orden, los parámetros son la ganancia (K_{1_2}), la frecuencia natural no amortiguada (ω_n) y el coeficiente de amortiguamiento (δ). La frecuencia natural no amortiguada corresponde a la frecuencia con la que oscilaría el sistema si no existiera amortiguamiento, mientras que el coeficiente de amortiguamiento es un parámetro que en función de su valor se puede deducir si el sistema es inestable, críticamente amortiguado, sobreamortiguado o subamortiguado (en este caso además su valor determina la amplitud de las sobreoscilaciones).

Mediante ensayos, se han calculado los valores de los parámetros de las funciones de transferencia del modelo. Finalmente, se han realizando ajustes quedado el modelo de la siguiente forma:

$$pH = \frac{-2}{(1 + 3200 \cdot s)} \cdot \frac{0.0002}{(s^2 + 0.0005 \cdot s + 0.0002)} \cdot e^{-220 \cdot s} \cdot CO_2 + \frac{0.0018}{(1 + 9260 \cdot s)} \cdot I$$

Conocidos los efectos de la inyección de CO_2 y de la radiación solar, así como las funciones de transferencia que lo representan, se considera que la dinámica principal del sistema viene determinada por la inyección de CO_2 , mientras que la radiación solar será considerada como una perturbación del sistema. De esta forma el esquema general de control para un controlador PI será el siguiente:

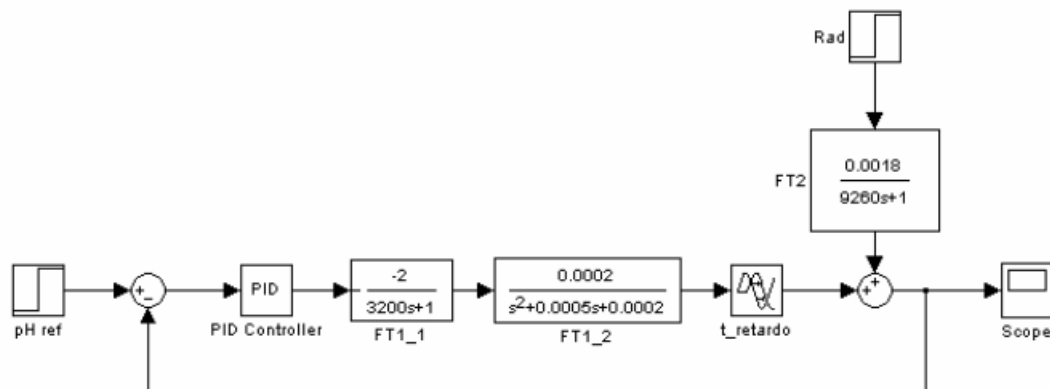


Fig. 10. Esquema general del control PI.

Para el diseño del controlador PI se ha utilizado el método de Ziegler-Nichols en bucle abierto, debido a que el sistema posee retardo. Una posterior simulación y la realización de ensayos prueba-error, conduce a que los parámetros óptimos del controlador PI son: $K_c = 2$ y $T_i = 1.800$ segundos.

El control anticipativo o Feed Forward consiste básicamente en realimentar el efecto de la perturbación (la radiación solar) al lazo de control para que posteriormente se corrijan los efectos de ésta. El esquema de control es el mismo que el del controlador PI anterior, solo que se añade la función de transferencia GFF (Feed Forward) que es la que introduce el efecto de la radiación en el lazo de control. El cálculo de GFF se realiza del siguiente modo:

$$G_{FF} = -\frac{TF2(s)}{TF1_1(s)} = -\frac{\frac{0.0018}{(9260 \cdot s + 1)}}{\frac{-2}{(3200 \cdot s + 1)}} = \frac{2.88 \cdot s + 0.0009}{(9260 \cdot s + 1)}$$

Por lo que el esquema general de control para el Feed Forward es el siguiente:

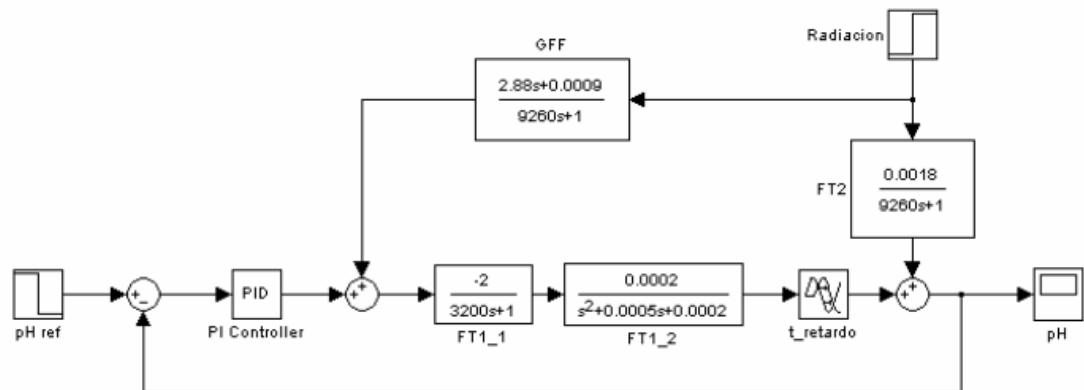


Fig. 11. Esquema general de un control anticipativo.

El control anticipativo Feed Forward reduce las pérdidas de CO₂ con respecto al Todo-Nada y al PI, consiguiendo mantener el pH entorno al valor óptimo inyectando la menor cantidad de CO₂, y por consiguiente perdiendo menos cantidad de CO₂.

Por otro lado, reduce el número de actuaciones de la válvula de CO₂, ya que el control del pH está mejor regulado, evitando un desgaste excesivo de la válvula, alargando la vida útil de está.

3.- INSTRUMENTACIÓN.

3.1.- Reactores.

Cada uno de los fotobiorreactores de la planta estarán equipados con sondas de pH (YT), oxígeno disuelto (OT) y temperatura (TT), además de un sensor de radiación solar (NT) general para toda la planta. Con estas cuatro variables queda monitorizado cada uno de los fotobiorreactores. A pesar de que sólo se actúe en la variable del pH, es necesario realizar un seguimiento de los cultivos, ya que en el caso de que se produzca un problema en el desarrollo de estos, se podrá actuar en forma más rápida y eficiente.

3.2.- Caldera y equipos adicionales a la captación del CO₂.

Se considerarán sondas y sensores para la monitorización de la Temperatura y Presión a la entrada y salida del cambiador E-5. Para la corriente de gases L-11, se considerarán sensores o transmisores de flujo o caudal (FT) y sensor de CO₂ (AT).

3.3.- Cabezal de riego.

Todos los cabezales de riego van provistos de sondas de pH, conductividad eléctrica (CT), sensores de presión a la entrada y salida del sistema, sensor de tiempo (KT) para medir los tiempos de riego y poder programar el cabezal a las horas de riego y paradas. Se podrán monitorizar las entradas y salidas de medio así como su composición en función del pH y C.E., de modo que se regularán las entradas y dosificaciones de nutrientes según las consignas especificadas.

3.4.- Bombas.

Es importante medir la presión a la entrada y salida de las bombas para comprobar el correcto funcionamiento de éstas. Van conectadas a una válvula de regulación en by-pass, para el control de flujo de fluido impulsado por la bomba.

3.5.- Cambiadores de calor.

Se medirán, a las entradas y salidas de los cambiadores de calor, tanto la presión como la temperatura, para controlar el ensuciamiento y las pérdidas de carga, así como el correcto funcionamiento del equipo.

3.6.- Cámara de frío.

En la cámara de frío la temperatura debe encontrarse en un rango de temperatura bajo aproximadamente entre 2-5 °C. Ésta debe ir equipada de un sensor de temperatura y de humedad (MT). Los tanques de almacenamiento tendrán sensor de nivel (LT).

3.7.- Diagrama de Instrumentación.

Nomenclatura de sensores	
KT	sensor/transmisor de tiempo
CT	sensor/transmisor de conductividad
LT	sensor de nivel
PT	sensor/transmisor de presión
TT	sensor/transmisor de temperatura
FT	sensor/transmisor de flujo o caudal
AT	sensor/transmisor-analizador de CO ₂
YT	sensor/transmisor de pH
OT	sensor/transmisor-analizador de O ₂
NT	sensor/transmisor de radiación solar
MT	sensor/transmisor de humedad

Tabla 2. Nomenclatura de sensores.



Nomenclatura de válvulas	
	Válvula de control
	Válvula manual

Tabla 3. Nomenclatura de válvulas.

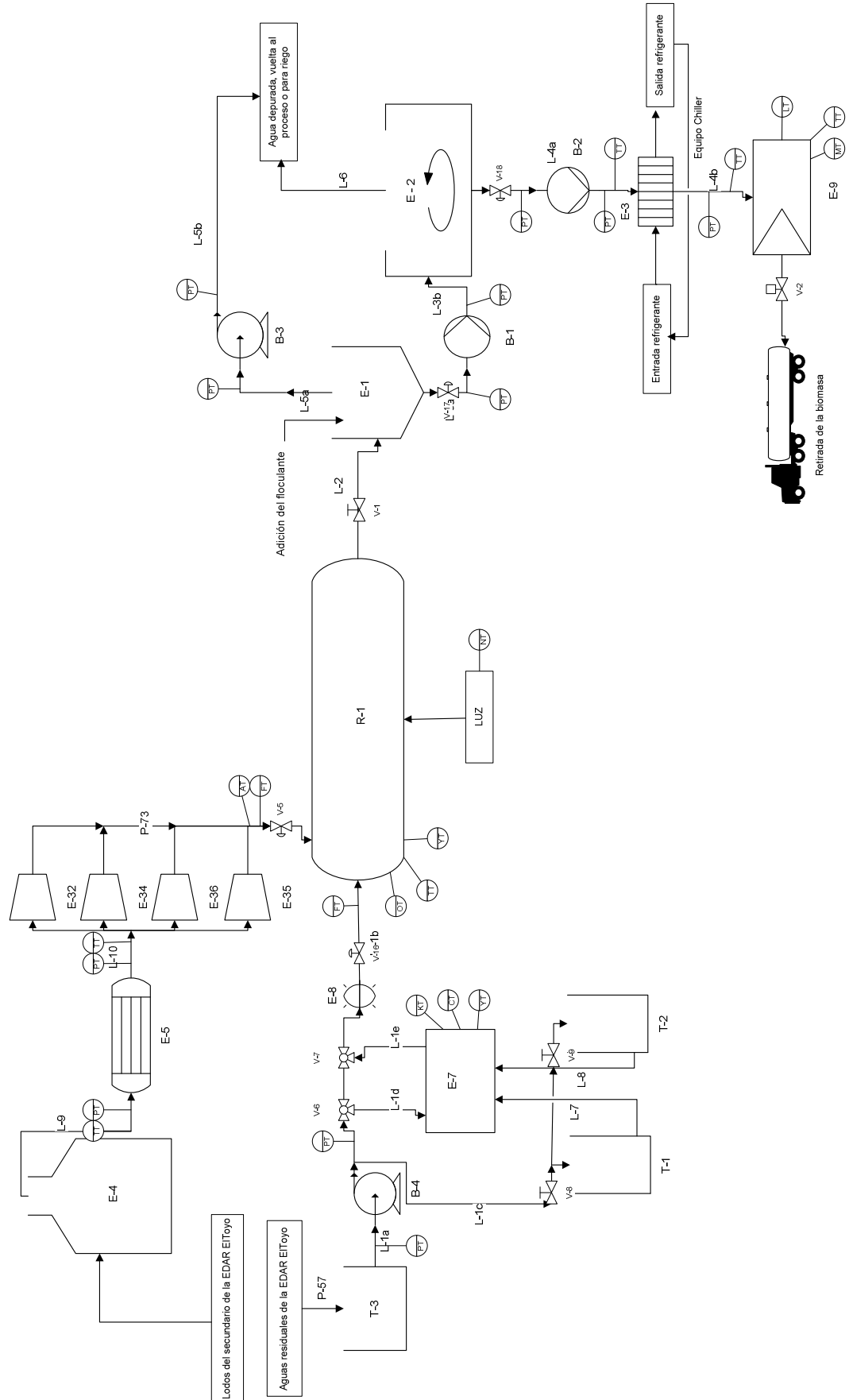


Fig. 12. Diagrama de Instrumentación.

4.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- Creus Solé, A.; Instrumentación industrial (2005); Ed. Marcombo.
- Coulson and Richardson; Chemical engineering design (2005). Vol. 6. Ed. Elsevier.
- Proyecto fin de carrera: "Diseño e implementación de una herramienta de control avanzado para el control de pH en fotobiorreactores tubulares verticales con microalgas". José Peña Martín. Septiembre 2009.

ANEJO 12:
DISTRIBUCIÓN
EN PLANTA

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	2
1.1.- Objetivos de la distribución en planta.....	2
1.2.- Factores que influyen en la selección de la distribución en planta.....	4
2.- TIPOS DE DISTRIBUCIÓN.....	6
2.1.- Sistemas de distribución en planta.....	6
2.2.- Tipos de distribución en planta.....	7
3.- DISTRIBUCION EN PLANTA SELECCIONADA.....	8
3.1.- Características generales:.....	8
3.2.- Procesos a instalar.....	9
3.3.- Análisis de relación entre actividades.....	11
3.4.- Relación de actividades.....	12
3.5.- Análisis multicriterio:.....	13
4.- BIBLIOGRAFÍA.....	18

1.- INTRODUCCIÓN.

Para llevar a cabo una adecuada distribución en planta ha de tenerse presente cuáles son los objetivos estratégicos y tácticos que aquella habrá de apoyar, así como los posibles conflictos que puedan surgir entre ellos. El objetivo de la planificación de la distribución en planta consiste en permitir que los empleados y el equipo trabajen con mayor eficacia, de forma segura y económica. Por lo general, la mayoría de las distribuciones quedan diseñadas eficientemente para las condiciones de partida; sin embargo, a medida que la organización crece y/o ha de adaptarse a los cambios internos y externos, la distribución inicial se vuelve menos adecuada, hasta llegar el momento en el que la redistribución se hace necesaria. Los motivos que justifican esta última se deben, con frecuencia, a tres tipos básicos de cambios:

- En el volumen de producción, que puede requerir un mayor aprovechamiento del espacio.
- En la tecnología y en los procesos, que pueden motivar un cambio en recorridos de materiales y hombres, así como en la disposición relativa a equipos e instalaciones.
- En el producto, que puede hacer necesarias modificaciones similares a las requeridas por un cambio en la tecnología.

La frecuencia de la redistribución dependerá de las exigencias del propio proceso en este sentido.

1.1.- Objetivos de la distribución en planta.

Se procurará encontrar aquella ordenación de los equipos y de las áreas de trabajo que sea más económica y eficiente, al mismo tiempo que segura y satisfactoria para el personal que ha de realizar el trabajo. De forma más detallada, se podría decir que este objetivo general se alcanza a través de la consecución de hechos como:

- Disminución de la congestión.
- Supresión de áreas ocupadas innecesariamente.
- Reducción del trabajo administrativo e indirecto.
- Mejora de la supervisión y el control.

- Mayor facilidad de ajuste a los cambios de condiciones.
- Mayor y mejor utilización de la mano de obra, la maquinaria y los servicios.
- Reducción de las mantenciones y del material en proceso.
- Disminución del riesgo para el material o su calidad.
- Reducción del riesgo para la salud y aumento de la seguridad de los trabajadores.
- Elevación de la moral y la satisfacción del personal.
- Disminución de los retrasos y del tiempo de fabricación e incremento de la producción.

Es evidente que, aunque los factores enumerados puedan ser ventajas concretas a conseguir, no todas podrán ser alcanzadas al mismo tiempo y, en la mayoría de los casos, la mejor solución será un equilibrio en la consecución de los mismos. En cualquier caso, los objetivos básicos que ha de conseguir una buena distribución en planta son:

- Unidad: Al perseguir el objetivo de unidad se pretende que no haya sensación de pertenecer a unidades distintas ligada exclusivamente a la distribución en planta.
- Circulación mínima: El movimiento de productos, personas o información debe ser mínimo.
- Espacio cúbico: La economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto vertical como horizontal.
- Circulación o flujo de materiales: En igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución o proceso que esté en el mismo orden de secuencia en que se transforma, tratan o montan los materiales.
- Seguridad: La Seguridad en el movimiento y el trabajo de personas y materiales es una exigencia en cualquier diseño de distribución en planta.
- Flexibilidad: Se alude a la flexibilidad en el diseño de la distribución en planta como la necesidad de diseñar atendiendo a los cambios que ocurrirán en el corto y medio plazo en volumen y en proceso de producción.

1.2.- Factores que influyen en la selección de la distribución en planta.

Al realizar una buena distribución, es necesario conocer la totalidad de los factores implicados en la misma, así como sus interrelaciones. La influencia e importancia relativa de los mismos puede variar con cada organización y situación concreta; en cualquier caso, la solución adoptada para la distribución en planta debe conseguir un equilibrio entre las características y consideraciones de todos los factores, de forma que se obtengan las máximas ventajas. Los factores que tienen influencia sobre cualquier distribución pueden encuadrarse en ocho grupos:

- 1) **Los materiales:** La distribución de los factores productivos dependerá necesariamente de las características de aquéllos y de los materiales sobre los que haya que trabajar. Los factores fundamentales a considerar son, el tamaño, forma, volumen, peso y características físicas y químicas de los mismos, que influyen decisivamente en los métodos de producción y en las formas de manipulación y almacenamiento. La bondad de una distribución en planta dependerá en gran medida de la facilidad que aporta en el manejo de los distintos productos y materiales con los que se trabaja. Por último, habrán de tenerse en cuenta la secuencia y orden en el que se han de efectuar las operaciones, puesto que esto dictará la ordenación de las áreas de trabajo y de los equipos, así como la disposición relativa de unos departamentos con otros.
- 2) **La maquinaria:** Para lograr una distribución adecuada es indispensable tener información de los procesos a emplear, de la maquinaria, utillaje y equipos necesarios, así como de la utilización y requerimientos de los mismos. En cuanto a la maquinaria, se habrá de considerar su tipología y el número, así como el tipo y cantidad de equipos y utillaje. El conocimiento de factores relativos a la maquinaria en general, tales como espacio requerido, forma, altura y peso, cantidad y clase de operarios requeridos, riesgos para el personal, necesidad de servicios auxiliares, etc., se muestra indispensable para poder afrontar un correcto y completo estudio de distribución en planta.

- 3) La mano de obra:** También la mano de obra ha de ser ordenada en el proceso de distribución, englobando tanto la directa como la de supervisión y demás servicios auxiliares. Al hacerlo, debe considerarse la seguridad de los empleados, junto con otros factores, tales como luminosidad, ventilación, temperatura, ruidos, etc. De igual forma habrá de estudiarse la cualificación y flexibilidad del personal requerido, así como el número de trabajadores necesarios en cada momento y el trabajo que habrán de realizar.
- 4) El movimiento:** En relación con este factor, hay que tener presente que las mantenciones no son operaciones productivas, pues no añaden ningún valor al producto. Debido a ello, hay que intentar que sean mínimas y que su realización se combine en lo posible con otras operaciones, sin perder de vista que se persigue la eliminación de manejos innecesarios y antieconómicos.
- 5) Las esperas:** Uno de los objetivos que se persiguen es conseguir que la circulación de los materiales sea fluida a lo largo de la misma, evitando así el coste que suponen las esperas y demoras que tienen lugar cuando dicha circulación se detiene. Ahora bien, el material en espera no siempre supone un coste a evitar, pues, en ocasiones, puede proveer una economía superior, lo cual hace necesario que sean considerados los espacios necesarios para los materiales en espera.
- 6) Los servicios auxiliares:** Los servicios auxiliares permiten y facilitan la actividad principal que se desarrolla en una planta. Entre ellos, podemos citar los relativos al personal (vías de acceso, protección contra incendios, primeros auxilios, supervisión, seguridad, etc.), los relativos al material (inspección y control de calidad) y los relativos a la maquinaria (mantenimiento y distribución de líneas de servicios auxiliares). Es importante que el espacio ocupado por dichos servicios asegure su eficiencia y que los costes indirectos que suponen queden minimizados.
- 7) El edificio:** La consideración del edificio es siempre un factor fundamental en el diseño de la distribución, pero la influencia del mismo será determinante si éste ya existe en el momento de proyectarla, tales como carreteras y caminos, aparcamientos, construcciones de balsas, casetas de bombeo, rampas, tomas de agua.

8) Los cambios: uno de los objetivos que se persiguen con la distribución en planta es la flexibilidad. Por tanto, hay que prever las variaciones futuras para evitar que los posibles cambios en los restantes factores que hemos enumerado lleguen a transformar una distribución en planta eficiente en otra anticuada que merme beneficios potenciales. Para ello, habrá que comenzar por la identificación de los posibles cambios y su magnitud, buscando una distribución capaz de adaptarse dentro de unos límites razonables y realistas. La flexibilidad se alcanzará, en general, manteniendo la distribución original tan libre como sea posible de características fijas, permanentes o especiales, permitiendo la adaptación a las emergencias y variaciones inesperadas de las actividades normales del proceso. Asimismo, es fundamental tener en cuenta las posibles ampliaciones futuras de la distribución y sus distintos elementos, considerando, además, los cambios externos que pudieran afectarla y la necesidad de conseguir que durante la redistribución, sea posible seguir realizando el proceso productivo

2.- TIPOS DE DISTRIBUCIÓN.

2.1.- Sistemas de distribución en planta.

Fundamentalmente existen siete sistemas de distribución en planta, estos se dan a conocer a continuación:

- **Movimiento de material.** En este sistema el material se mueve de un lugar de trabajo a otro, de una operación a la siguiente.
- **Movimiento del Hombre.** Los operarios se mueven de un lugar de trabajo al siguiente, llevando a cabo las operaciones necesarias sobre cada pieza de material.
- **Movimiento de Maquinaria.** El trabajador mueve diversas herramientas o maquinas dentro de un área de trabajo para actuar sobre una pieza grande.
- **Movimiento de Material y Hombres.** Los materiales y la maquinaria van hacia los hombres que llevan a cabo la operación.

- Movimientos de Hombres y Maquinaria. Los trabajadores se mueven con las herramientas y equipo generalmente alrededor de una gran pieza fija.
- Movimiento de Materiales, Hombres y Maquinaria. Generalmente es demasiado caro e innecesario moverlos a los tres.

2.2.- Tipos de distribución en planta.

Es evidente que la forma de organización del proceso productivo resulta determinante para la elección del tipo de distribución en planta. No es extraño que sea dicho criterio el que tradicionalmente se sigue para la clasificación de las distintas distribuciones en planta. De acuerdo con ello, y en función de las configuraciones estudiadas anteriormente suelen identificarse tres formas básicas de distribución en planta:

- **orientadas al producto** y asociadas a configuraciones continuas o repetitivas. En esta, el producto o un tipo de producto se realiza en un área, pero al contrario de la distribución fija, el material está en movimiento.
- **orientadas al proceso:** asociadas a configuraciones por lotes, y las distribuciones. En ella todas las operaciones del mismo proceso están agrupadas.
- **por posición fija:** se trata de una distribución en la que el material o el componente permanecen en lugar fijo. Todas las herramientas, maquinaria, hombres y otras piezas del material concurren a ella.

Los tres tipos de distribución mencionados anteriormente muestran las siguientes ventajas:

Ventajas de la distribución por producto:

- Manejo de materiales reducido
 - Escasa existencia de trabajo en curso
 - Tiempos mínimos de fabricación
 - Simplificación de los sistemas de planificación y control de la producción.
 - Simplificación de tareas
-

Ventajas de distribución por proceso:

- Reduce el manejo del material
- Disminuye la cantidad del material en proceso
- Se da un uso más efectivo de la mano de obra
- Existe mayor facilidad de control
- Reduce la congestión y el área de suelo ocupado.

Ventajas de distribución por posición fija:

- Se logra una mejor utilización de la maquinaria
- Se adapta a gran variedad de productos
- Se adapta fácilmente a una demanda intermitente
- Presenta un mejor incentivo al trabajador
- Se mantiene más fácil la continuidad en la producción

3.- DISTRIBUCION EN PLANTA SELECCIONADA.

3.1.- Características generales:

La distribución en planta de cualquier proceso químico presenta una serie de elementos comunes.

Recinto en planta: El emplazamiento donde irá ubicada la planta debe estar vallado, y todos los accesos deberán tener puerta. Por razones de seguridad, el número de puertas debe ser mínimo. Las zonas de actividades o sustancias peligrosas, deberán aislarse del resto cuando sea posible.

Edificios: Las distintas secciones de la planta, dependiendo de sus características, necesitan un determinado edificio o estructura donde se instalen. Los edificios auxiliares deben incluir vestuarios, talleres de mantenimiento, laboratorios de control, comedor, servicios y aparcamiento. Las bombas y motores deben colocarse en el interior de los edificios para evitar daños debidos a factores meteorológicos, siempre que sea posible. Es conveniente que las bombas se encuentren en línea a cada lado de un camino con los motores alineados hacia el exterior, para facilitar el acceso. Todos los

edificios y zonas de proceso deben disponer de vías libres y amplias para que los operadores puedan salvar desniveles y obstáculos; y de pasarelas y plataformas con dos o más salidas de escape.

Accesos y zonas de carga y descarga: Las zonas de acceso a la planta de tráfico rodado deben situarse en la periferia del recinto. Las zonas de carga y descarga se localizarán en una zona cercana a la entrada de la planta y a las zonas de acceso por carretera. Debe evitarse carreteras que atraviesen áreas de proceso o áreas peligrosas.

Para poder decidir la distribución en planta más adecuada para el proceso productivo diseñado, existen numerosos métodos que llevan a una elección racional de la posición de los equipos implicados.

3.2.- Procesos a instalar.

Los procesos que se van a instalar y distribuir en planta son los siguientes:

- Sala de caldera.
- Soplantes de CO₂.
- Cabezal de riego.
- Decantador.
- Fotobioreactores.
- Zona de control, laboratorio y oficina.
- Almacén, centrífuga y cámara de frío.
- Taller, zona de almacenamiento de repuestos.
- Zona de aparcamientos, carga y descarga.

Para la construcción del plano de distribución en planta, se deben cumplir unas distancias mínimas de seguridad:

Separación típica entre unidades	Metros	
Plantas químicas y petroleras	Zona residencial	Mín. 250-350
Entre unidades		15
Calderas	A la unidad contigua, límite de propiedad o calles principales	15
Chimeneas de purga		30
Plantas de tratamiento de efluentes		15
Áreas de carga		15
Almacenes		30
Oficinas		30
Centro médico	A las unidades de proceso	30
Garaje		30
Parque de bomberos		30
Talleres		30
Calles principales		12
Calles principales	A las fachadas de los edificios, excluidos los de cargaderos	9
Andenes y aceras		1.5
Ferrocarril		15
Tanque de almacenamiento	Tanque de almacenamiento	3
	Muro de contención	3
	Cubeto de protección	1.5
	Límite de la propiedad	3
Caseta de bombas	Reactor	12.2
Sala de control	Reactores, tanques	15.2-30.5
Bombas pequeñas (18 KW)	Paredes	1.2
Bombas grandes		1.5-2
Bombas al aire libre que manejan líquidos calientes (60 °C)	Bombas que manejen líquidos volátiles ($T_{\text{ps}} < 40^{\circ}\text{C}$)	7.5

Tabla 1. Espacios libres mínimos.

Además de estas limitaciones se debe tener en cuenta las siguientes restricciones:

- Cambiadores de calor: cuando existe un gran número de intercambiadores se suelen reunir en grupos. Debe existir una distancia mínima del lado del canal de distribución de igual longitud a los tubos del intercambiador.
- Bombas: los cambios de dirección en la línea de succión deben ser, al menos, a 600 mm de la bomba.
- Tuberías: para facilitar las operaciones, acciones durante emergencias y evitar longitudes excesivas las secciones de planta deben colocarse secuencialmente; las tuberías no deben pasar por debajo de las zonas del proceso o áreas de servicio; los conductos de gas no deben ir cerca de tuberías de agua potable ni cerca de cables, las tuberías con líquidos calientes deben ir lo más lejos posible de cables eléctricos; las tuberías a nivel del suelo suelen ir a 300 mm del suelo para facilitar limpieza y arreglos.

- Centrífuga: debe ser montada sobre una estructura que permita reducir al mínimo las vibraciones; debe tener un mínimo de 1,5 m de espacio a su alrededor; no se deben colocar bajo áreas corrosivas o bajo tuberías.

3.3.- Análisis de relación entre actividades.

La distribución en planta va a estar orientada al proceso. A continuación se van a establecer las relaciones entre las distintas actividades o zonas dentro del proceso, y esto será el punto de partida para la realización de un análisis más adecuado entre las distintas alternativas de distribución que se pueden llevar a cabo. La tabla consiste en un cuadro organizado en diagonal en el que quedan plasmadas las necesidades de proximidad entre cada actividad. En cada una de las celdas de la tabla se hace una valoración de la proximidad, definida por el siguiente código:

CÓDIGO	Relación de cercanía
A	Absolutamente necesaria
E	Especialmente necesaria
I	Importante
O	Ordinaria
U	Sin importancia
X	No deseable

Tabla 2. Código de valoración de las proximidades.

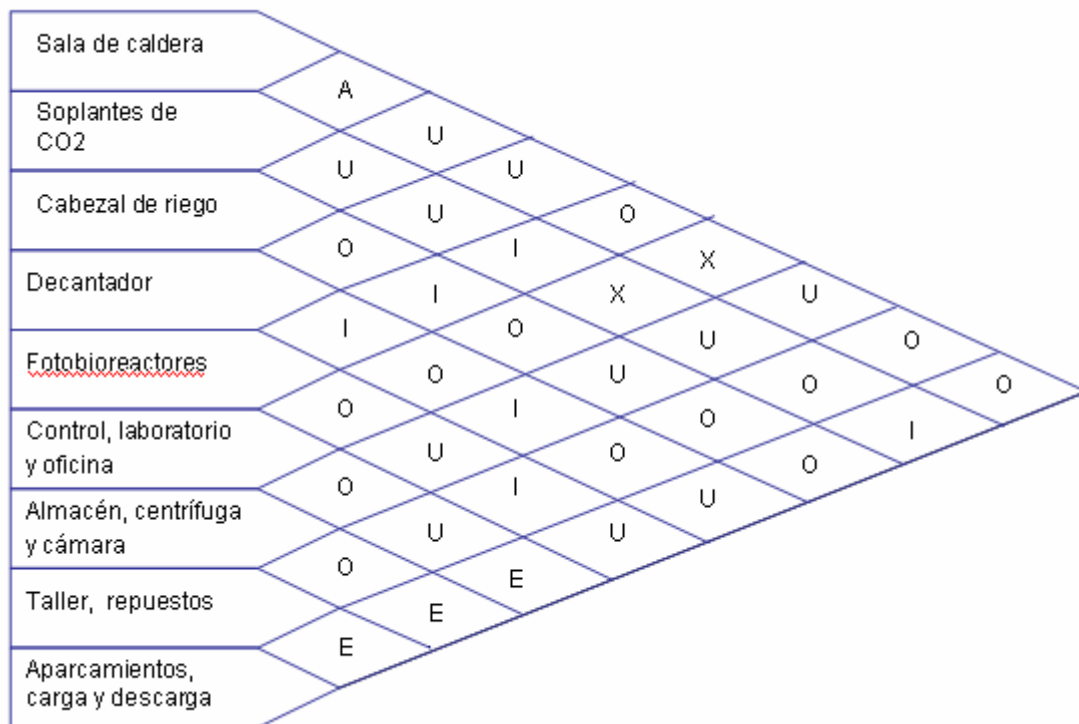


Tabla 3. Tabla relacional de actividades.

3.4.- Relación de actividades.

A continuación se establece la relación existente entre cada actividad. Para ello se realiza el diagrama relacional de actividades, donde se pretende recoger la ordenación topológica de las actividades en base a la información disponible. El diagrama es un gráfico en el que las relaciones entre las actividades son representadas mediante líneas, a las que se les añade un código para ver la importancia, o no, entre cada actividad. La ordenación se realiza de modo que se minimicen el número de cruces entre las líneas que representan las relaciones entre actividades, o por lo menos, entre aquellas que representan una mayor intensidad relacional.

De este modo, se consiguen las distribuciones en las que las actividades con mayor flujo de materiales están más próximas posibles (cumpliendo con el principio de la distancia mínima recorrida) y en las que la secuencia de las actividades sea similar a aquella con la que se tratan, elaboran o montan los materiales (principio de la circulación o flujo de materiales).

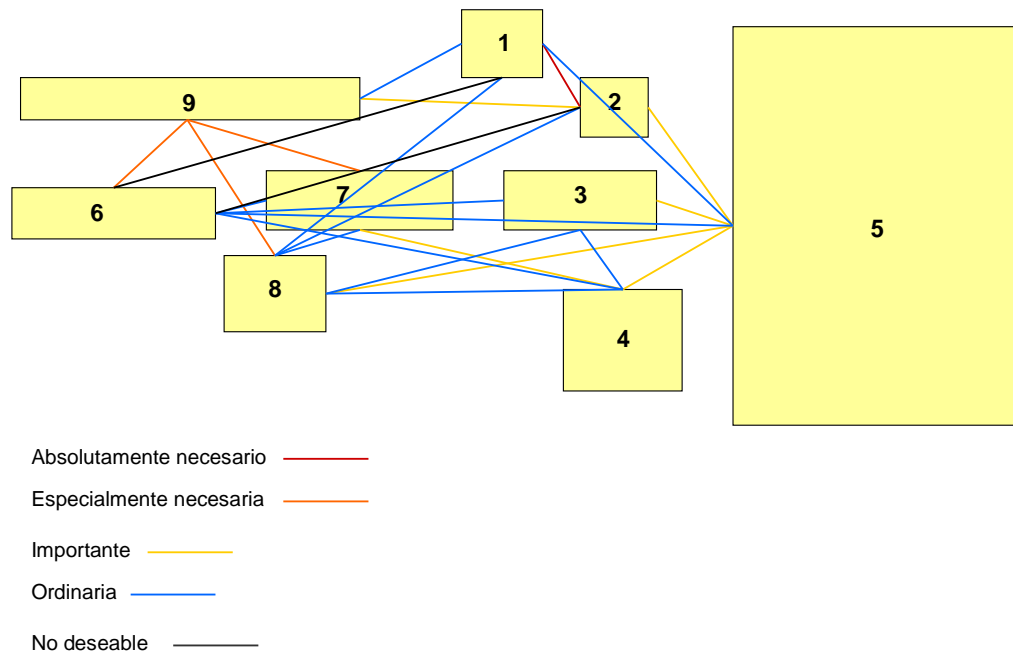


Fig. 1. Diagrama relacional de actividades.

3.5.- Análisis multicriterio:

El análisis multicriterio es un método de evaluación de alternativas que considera, de forma simultánea, el grado de consecución de cada una de ellas de unos objetivos previamente establecidos, en función de unos criterios de valoración que a su vez son agregados mediante algún procedimiento que determine una ordenación de las alternativas consideradas.

Las fases de la evaluación multicriterio son las siguientes:

- Definición del conjunto de alternativas.
- Establecimiento de criterios.
- Evaluación parcial de cada alternativa en función de cada criterio.
- Agregación de las evaluaciones parciales en función de los distintos criterios previamente ponderados.

Para la definición de las posibles alternativas es necesario implicar al conjunto de equipos que integran la planta de producción y diseñar su emplazamiento según los objetivos marcados en el proceso.

Como se ha mencionado anteriormente, las áreas funcionales que se van a considerar en la planta son:

1. Sala de caldera
2. Soplantes de CO₂
3. Cabezal de riego
4. Decantador
5. Fotobiorreactores.
6. Zona de control del proceso, laboratorio y oficina.
7. Almacén de producto terminado, centrífuga y cámara de frío.
8. Taller, zona de almacenamiento de repuestos.
9. Zona de aparcamientos, carga y descarga.

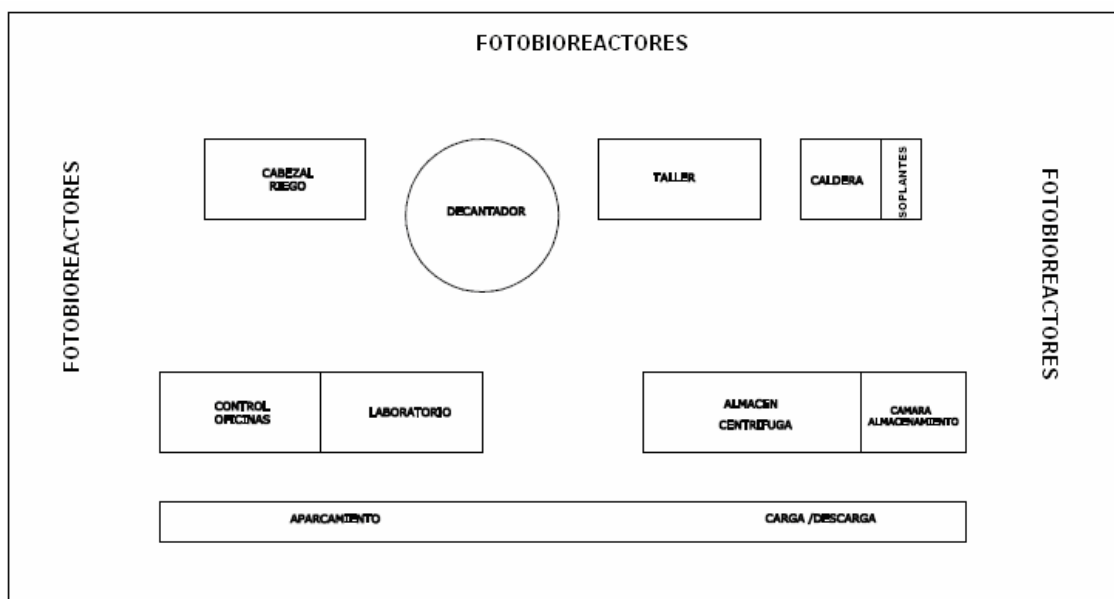


Fig. 2. Alternativa A.

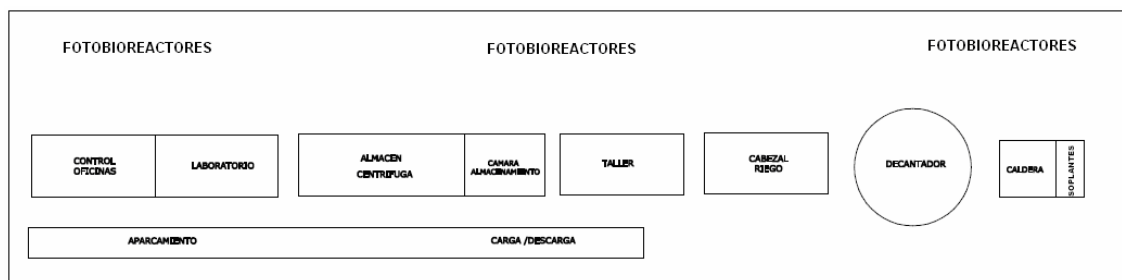


Fig. 3. Alternativa B.

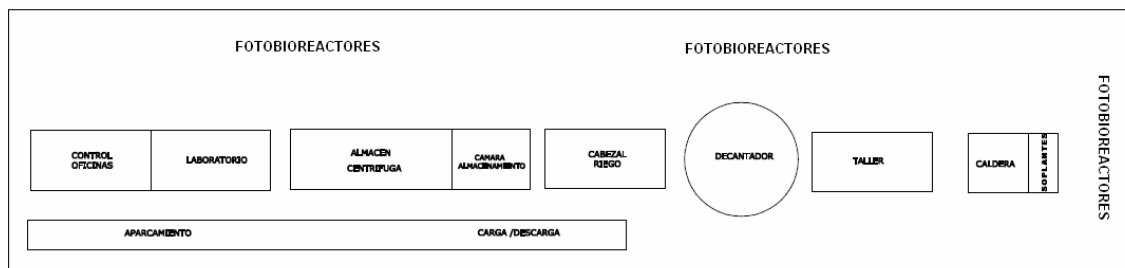


Fig. 4. Alternativa C.

Los criterios tenidos en cuenta para la selección de alternativas, por su importancia en el desarrollo del proceso, son los siguientes:

Criterio 1: Continuidad del proceso productivo.

Criterio 2: Mínimo movimiento posible.

Criterio 3: Aprovechamiento del espacio y de la radiación recibida.

Criterio 4: Facilidad de trabajo. Accesos de personal y maquinaria.

Criterio 5: Flexibilidad/adaptabilidad a cambios.

Para la evaluación de las alternativas se recurre a un método con el cual se obtiene la mejor opción de las disponibles, ya que establece relaciones binarias entre las alternativas. De esta forma se proporcionan las ventajas e inconvenientes de diversas posibilidades de elección. Este método, llamado ELECTRE, se concibió para elegir entre un gran número de alternativas las más aceptables, llegando a la selección de una sola. El método ELECTRE permite comparar magnitudes expresadas de forma cardinal u ordinal y se desarrolla comparando alternativas dos a dos de la siguiente forma:

Se establecen los criterios de referencia para la evaluación, los cuales han sido ya definidos. Se puntúa cada alternativa en términos de cumplimiento de cada criterio según una escala numérica. Esta escala establece valores del 1 al 10, siendo 10 la máxima importancia y 1 la mínima. Se pondera la importancia relativa de cada criterio (adjudicación de pesos). Se calculan los índices de concordancia (C_{ij}) y discordancia (D_{ij}):

Índice de concordancia: suma de los pesos de los criterios para los cuales la alternativa i tiene mayor puntuación que la alternativa j , dividida por la suma de los pesos.

Índice de discordancia: mayor diferencia entre las puntuaciones asignadas a las alternativas respecto a los criterios para los que la alternativa i no es superior a la j , dividida por el tamaño de la escala de puntuación.

Establecimiento de un umbral mínimo para el índice de concordancia (p) y uno máximo para el índice de discordancia (q). Es usual hacer que p sea 0,8 y q sea 0,2, ya que los valores dados a los índices están comprendidos entre 0 y 1. Decidir si la alternativa i es preferible a la j si $C_{ij} > C_{ji}$ y $D_{ij} < D_{ji}$. En caso de que en la alternativa j se cumpla que $C_{ij} < p$ y $D_{ij} > q$ será eliminada. De esta forma, queda configurada la siguiente tabla relacionando las alternativas disponibles con los criterios establecidos.

Criterios Alternativas	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Suma pesos
Alternativa A	8	8	9	8	7	
Alternativa B	8	7	8	7	7	
Alternativa C	8	6	8	9	8	
Pesos	10	8	10	8	7	43

Los valores para los índices de concordancia quedan de la siguiente forma:

Alternativas	A	B	C
A	----	0,6046512	0,4186047
B	0	----	0,1860465
C	0,3488372	0,3488372	----

Así mismo, los índices de discordancia calculados son los siguientes:

Alternativas	A	B	C
A	----	0	0,1
B	0,1	----	0,2
C	0,2	0	----

El resultado de estos dos índices, por tanto, se resume a continuación:

$$\begin{array}{ll}
 C_{12} > C_{21} & D_{12} < D_{21} \\
 C_{13} > C_{31} & D_{13} < D_{31} \\
 C_{23} < C_{32} & D_{23} = D_{32}
 \end{array}$$

Definidos los grados de concordancia y discordancia se define el grado de preferencia:

Alternativas	A	B	C
A	----	A>>B	A>>C
B	----	----	----
C	----	C>>B	----

Con este método, siguiendo los pasos especificados, se tiene como conclusión que la mejor distribución en planta para el proceso de producción diseñado es la alternativa A.

Para la planta de producción microalgas con fines energéticos, se dispone de 18 Ha en total. La superficie está distribuida de la siguiente forma:

Superficie destinada a cada área del proceso	
1. Sala de Caldera	100 m ²
2. Soplates de CO ₂	50 m ²
3. Cabezal de riego	200 m ²

4. Decantador	300 m ²
5. Reactores	179.452 m ²
6. Zona de control, laboratorio, y oficina.	400 m ²
7. Almacén, centrífuga y cámara de frío.	380 m ²
8. Taller, zona de almacenamiento de repuestos.	200 m ²
9. Zona de aparcamientos, carga y descarga	300 m ²
Otros: Espacios muertos entre zonas	800 m ²
Total área de la planta	18,22 Ha

Tabla 4. Distribución de la superficie.

4.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- Apuntes de clase de la asignatura “Proyectos” de Ingeniería Química. 5º curso
- Baasel W.D., Preliminary Chemical Engineering Plant Design (1990). Ed. Van Nostrand Reinhold.
- www.proyectosquimica.com

DOCUMENTO 4:

PRESUPUESTO

ÍNDICE

1.- ANÁLISIS ECONÓMICO.....	2
1.1.- Coste de los equipos principales.	2
1.2.- Capital fijo de inversión.....	2
1.3.- Amortización por año.	3
1.4.- Costes directos de producción por año.....	3
2.- VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	5
2.1.- Rentabilidad neta porcentual (BNP).....	5
2.2.- Plazo de recuperación o Pay-Back.	5
2.3.- Valor capital (VC) o valor actualizado neto (VAN).	5
2.4.- Criterios de la Tasa de Retorno (TIR).....	8
3.- BIBLIOGRAFÍA.....	10

1.- ANÁLISIS ECONÓMICO.

1.1.- Coste de los equipos principales.

El coste de los equipos principales o MEC (Mayor Equipment Costs) implicados en el proceso diseñado se detallan a continuación. Los costes de los equipos han sido extraídos de tablas bibliográficas.

Equipo	Características		Coste unidad	Unidades	Coste total	%
Fotobioreactor	4000	m ²	3 €/m ²	40	480.000,00 €	60%
Decantador	833	m ³ /h	85 €/m ³ /h	1	70.805,00 €	9%
Centrífuga	16	m ³ /h	5000 €/m ³ /h	1	80.000,00 €	10%
Caldera	70	kW	100 €/kW	1	7.000,00 €	1%
Cambiador de carcasa y tubos	20	m ²	250 €/m ²	1	5.000,00 €	1%
Cambiador de tubos	11	m ²	250 €/m ²	1	2.750,00 €	0%
Soplantes	4	kW	1000 €/kW	4	16.000,00 €	2%
Tanques de nutrientes	50	m ³	100 €/m ³	2	10.000,00 €	1%
Cabezal de riego	833	m ³ /h	75 €/m ³ /h	1	62.475,00 €	8%
Balsa riego	833	m ³	20 €/m ³	1	16.660,00 €	2%
Sistema de UV			5000 €	1	5.000,00 €	1%
Cámara de frío	130	m ²	150 €/m ²	1	19.500,00 €	2%
Tanques de almacenamiento	18	m ³	100 €/m ³	6	10.800,00 €	1%
Sistema de frío	30	kW	600 €/kW	1	18.000,00 €	2%
Bombas de lodos	0,5	kW	500 €/kW	2	500,00 €	0%
Bombas centrífugas	5	kW	200 €/kW	1	1.000,00 €	0%
Bombas centrífugas	45	kW	200 €/kW	1	9.000,00 €	1%
Total					805.490,00 €	100%

Tabla 1. Coste de los equipos principales o MEC.

El principal coste de los equipos lo componen los fotobioreactores, que representa el 60% del total, debido al número de estos. Le siguen en importancia la centrífuga y el decantador.

1.2.- Capital fijo de inversión.

La determinación del capital fijo inmovilizado se ha estimado a partir de los costes de los equipos principales mediante la aplicación de un determinado factor.

Capital fijo de inversión	Coste total, €
Equipos necesarios (MEC)	805.490,00 €
Costes de instalación (0,1*MEC)	80.549,00 €
Instrumentación y control (0,15*MEC)	80.549,00 €
Tuberías (0,2*MEC)	80.549,00 €
Electricidad (0,1*MEC)	80.549,00 €
Edificios (0,05*MEC)	40.274,50 €
Mejora del terreno (0,1*MEC)	80.549,00 €

Facilidades de servicio (0,1*MEC)	80.549,00 €
Terreno	- €
Ingeniería y supervisión (0,1*MEC)	80.549,00 €
Gastos de construcción (0,1 Σ (1-9))	132.905,85 €
Honorarios del contratista (0,05 Σ (1-9))	66.452,93 €
Contingencias (0,06 del capital fijo de inversión)	102.699,98 €
Total	1.711.666,25 €

Tabla 2. Capital fijo de inversión.

La inversión inicial necesaria sería de 1.711.666,25 €, siendo los equipos principales y los gastos de construcción los de mayor peso.

1.3.- Amortización por año.

La amortización del capital inmovilizado se llevara a cabo durante el periodo de funcionamiento del proceso. Se estima una vida útil del proceso de unos 15 años. A continuación se muestra el capital inmovilizado por año calculado.

Capital fijo total por año	Coste total, €
Depreciación (15 años)	114.111,08 €
Impuesto de la propiedad	1.141,11 €
Seguro	684,67 €
Impuesto de compra	24.680,21 €
Total	140.617,07 €

Tabla 3. Capital inmovilizado por año.

1.4.- Costes directos de producción por año.

A continuación se especifican los costes directos asociados a la obtención del producto, por lo que se obtiene el precio unitario de producción de la biomasa por año.

Materias primas	Unidades		Coste/unidad		Coste total, €	Coste, %
Medio de cultivo	1999200	m ³	0	€/m ³	- €	0,00%
Biomasa	440000	kg	0	€/kg	- €	0,00%
Servicios						Coste, %
Electricidad	66466	kWh	0,1	€/kWh	6.646,64 €	3,37%
Otros					Coste total, €	Coste, %
Operarios	4,00	Operadores	20.000,00	€/operador	80.000,00 €	40,58%
Supervisión	0,20				16.000,00 €	8,12%
Precios nóminas	0,25				24.000,00 €	12,17%
Mantenimiento	0,04				32.219,60 €	16,34%
Suministros operación	0,00				4.510,74 €	2,29%
Revisiones planta	0,10				12.821,96 €	6,50%
Impuestos	0,16				6.940,32 €	3,52%
Contingencias	0,01				11.276,86 €	5,72%

Marketing	0,05			9.388,47 €	4,76%
Total				197.157,96 €	100,00%

Tabla 4. Costes directos de producción al año.

Los costes más importantes son los de operarios y posteriormente los de mantenimiento.

Los costes totales de producción son la suma del capital inmovilizado total por año y los costes directos de producción.

Capital fijo inmovilizado por año	140.617,07 €
Total de costes directos de producción por año	197.157,96 €
Total costes producción por año	337.775,03 €
Coste unitario por kg biomasa	0,34 €

Tabla 5. Costes totales de producción por año y precio unitario de producción de la biomasa.

Según lo establecido se obtiene un producto con un coste de producción de 0,34 €/kg. biomasa, lo cual supone un precio dentro de la media establecida para la rentabilidad del proyecto.

Según los estudios realizados hasta el momento, han puesto de manifiesto que los costes totales de producción no deben superar los 0,4 €/kg.

Si calculamos los beneficios brutos como el resultado de sustraer de los beneficios obtenidos de las ventas a 0,4 €/kg de biomasa, los gastos presentados a lo largo del año fiscal (costos de producción), obtenemos un valor de 62.224,97 €/año. Por otro lado, los beneficios netos resultan de aplicar a los beneficios brutos un 36 % en impuestos. En la siguiente tabla se muestran los resultados:

Previo venta, €/kg	0,4
Capital Inmovilizado (€)	1.711.666,25
Ventas (€/año)	400.000
Costos (€/año)	337.775,03
Beneficios brutos (€/año)	62.224,97
Beneficios netos (€/año)	39.823,98

Tabla 6. Beneficios netos anuales con precio de venta 0,4 €/kg biomasa.

Siendo esto así, estaríamos cumpliendo con las expectativas marcadas, y el precio de mercado podríamos elevarlo hasta 0,4 €/kg, cubriendo totalmente

los costes totales de producción por año y obteniendo un beneficio neto anual de 39.823,98 €.

2.- VIABILIDAD DEL PROYECTO.

Para conocer la viabilidad del proyecto se recurre a una serie de métodos de evaluación que se presentan a continuación. Estos métodos proporcionan diversos criterios para la evaluación económica de proyectos y establecer el valor de venta en el mercado para obtener un proyecto viable..

2.1.- Rentabilidad neta porcentual (BNP).

Este parámetro se calcula del modo siguiente:

$$BNP = \frac{\textit{Beneficio.Neto}}{\textit{Capital.Inmovilizado}} \cdot 100 \quad \text{Ec. 1}$$

2.2.- Plazo de recuperación o Pay-Back.

Este es el tiempo que tarda en recuperarse el desembolso inicial. De acuerdo con este criterio el proyecto será rentable si se recupera el dinero invertido antes del fin de la vida útil de la planta.

$$\textit{Pay - Back} = \frac{\textit{Capital.Inmovilizado}}{\textit{Beneficio.bruto}} \quad \text{Ec. 2}$$

2.3.- Valor capital (VC) o valor actualizado neto (VAN).

El Van proporciona una medida de la rentabilidad esperada de una inversión, en valor absoluto y actual. La aplicación de este método permite determinar las inversiones:

- VAN>0 la inversión será aceptada, ya que aumenta la riqueza de la empresa.
- VAN<0 la inversión será rechazada, por disminuir la riqueza de la empresa.
- VAN=0 será indiferente la realización o no de la inversión.

Si consideramos que tanto los beneficios netos como el tipo de interés se mantienen constantes, se puede determinar el VAN como:

$$VAN = -A + Q \cdot \frac{1 - (1 + k)^{-n}}{k} + R \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

A: es el desembolso inicial.

Q: son los beneficios netos.

R: es el valor residual por la venta del equipo tras el fin de la vida útil de la instalación (0,05·MEC),

k: es el tipo de interés (0,05 %)

n: es la vida útil de la instalación (15 años).

A partir de esto, se puede realizar un estudio de rentabilidad en función del precio del producto, y observar en que momento la inversión será positiva.

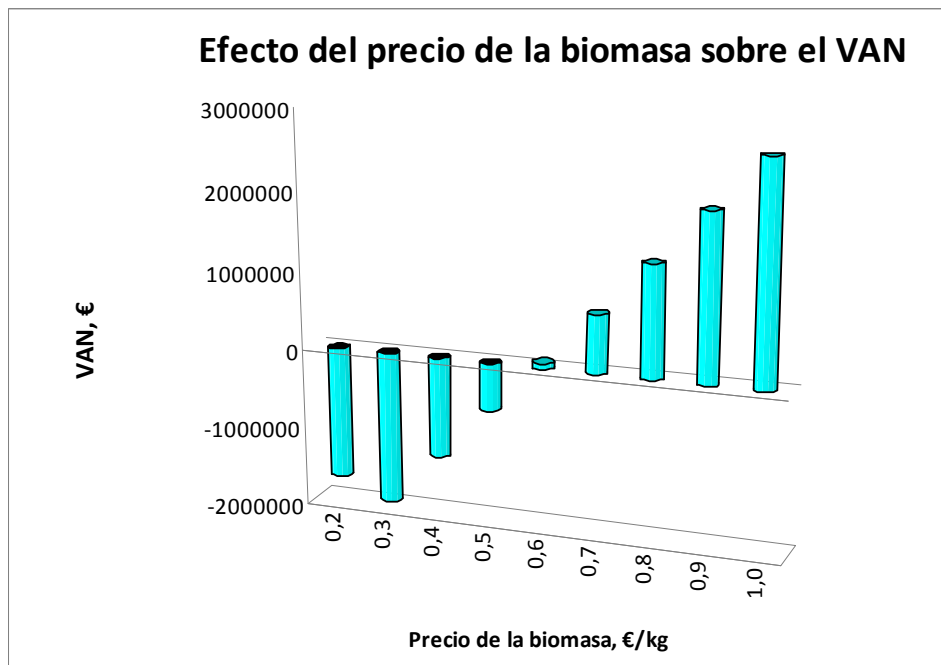


Fig. 1. Efecto del precio de la biomasa de microalgas sobre el VAN.

VIABILIDAD									
Previo venta, €/kg	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Capital Inmovilizado (€)	1711666,25	1711666,25	1711666,25	1711666,25	1711666,25	1711666,25	1711666,25	1711666,25	1711666,25
Ventas (€/año)	200000,00	300000,00	400000,00	500000,00	600000,00	700000,00	800000,00	900000,00	1000000,00
Costos (€/año)	337775,03	337775,03	337775,03	337775,03	337775,03	337775,03	337775,03	337775,03	337775,03
Beneficios brutos (€/año)	-137775,03	-37775,03	62224,97	162224,97	262224,97	362224,97	462224,97	562224,97	662224,97
Beneficios netos (€/año)	-88176,02	-24176,02	39823,98	103823,98	167823,98	231823,98	295823,98	359823,98	423823,98
BNP, %	-0,05	-0,01	2,33	6,07	9,80	13,54	17,28	21,02	24,76
Plazo de recuperación, años	-12,42	-45,31	27,51	10,55	6,53	4,73	3,70	3,04	2,58
Tipo de interés	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
n, años	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
VAN	-1671391,75	-1922330,56	-1258032,45	-593734,33	70563,78	734861,90	1399160,01	2063458,13	2727756,24

Tabla 7. Estudio del VAN en función del precio de venta.

A partir del valor de venta de 0,6 €/kg, se obtiene un valor del VAN positivo, con lo que la inversión es aceptada. Con un tipo de interés de 0,05 y una viabilidad de la planta estimada en 15 años, se obtiene un plazo de recuperación de 6,53 años. Con estos datos el BNP se sitúa en un 9,80%.

A continuación se presenta una tabla con los valores de flujos netos de caja y actualizados:

Año i	Flujos netos de caja, €/año	Factor actualización (1+k) ⁻ⁱ	Flujos actualizados al año 0
0	-1.711.666,25 €	1,00	- 1.711.666,25
1	167.823,98 €	0,95	159.832,36
2	167.823,98 €	0,91	152.221,30
3	167.823,98 €	0,86	144.972,66
4	167.823,98 €	0,82	138.069,20
5	167.823,98 €	0,78	131.494,48
6	167.823,98 €	0,75	125.232,84
7	167.823,98 €	0,71	119.269,37
8	167.823,98 €	0,68	113.589,88
9	167.823,98 €	0,64	108.180,83
10	167.823,98 €	0,61	103.029,37
11	167.823,98 €	0,58	98.123,21
12	167.823,98 €	0,56	93.450,67
13	167.823,98 €	0,53	89.000,64
14	167.823,98 €	0,51	84.762,51
15	208.098,48 €	0,48	100.098,93

Tabla 8. Flujos de cajas netos y actualizados.

2.4.- Criterios de la Tasa de Retorno (TIR).

El TIR de una inversión es la rentabilidad expresada en tanto por uno anual de la misma. Se define como aquel valor de la tasa de actualización (k) que iguala el valor actualizado de cobros con el valor actualizado de los pagos; o, equivalentemente, es aquel valor de la tasa de actualización que anula el VAN.

$$VAN = -A + \frac{Q}{(1+r)^1} + \frac{Q}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q}{(1+r)^n} = 0$$

El TIR proporciona una medida de la rentabilidad relativa de una inversión, de tal manera que:

- $r > k$ la inversión será aceptada, porque incrementa la riqueza de la empresa.

- $r < k$ la inversión será rechazada, porque disminuye la riqueza de la empresa.
- $r = k$ será indiferente la realización o no de la inversión.

Como resultado de operar con un valor de 0,6 €/kg biomasa de microalga, se obtiene un valor de $r = 0,053$, muy próximo a $k = 0,050$.

El valor de r no se muy superior a k , aunque se considera la inversión como aceptada ya que el proyecto es un proyecto de investigación, y uno de los objetivos económicos era llegar a cubrir los gastos totales de producción anuales. De este modo se establece un valor de $TIR = 5,3\%$.

Si consideramos valores superiores de venta de 0,6 €/kg, el valor del TIR aumenta bastante.

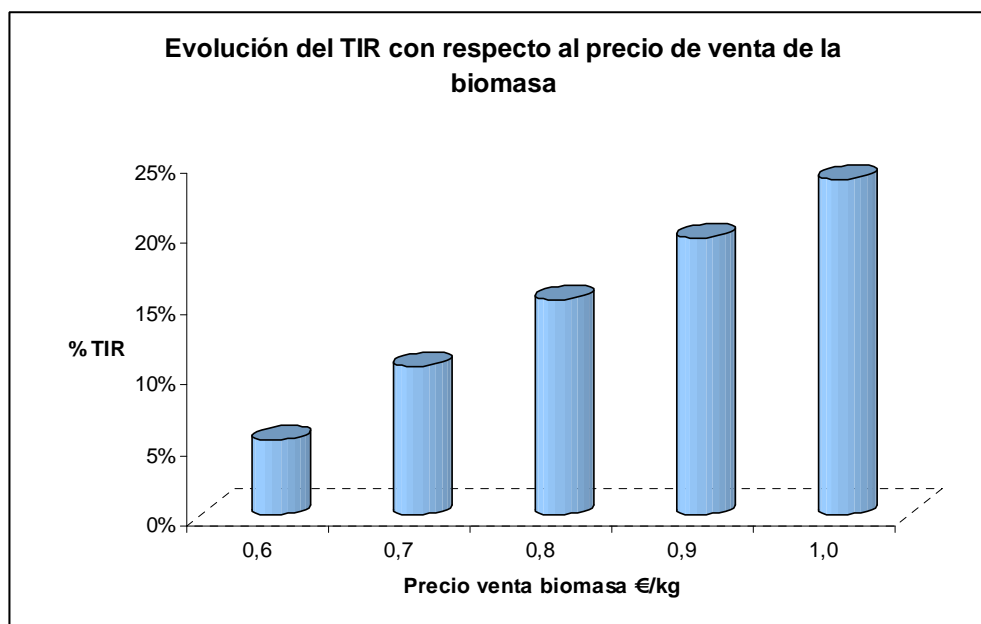


Fig. 2. Evolución del TIR con respecto al precio de venta de la biomasa.

Almería, Junio 2012.

El Alumno.

Fdo.: Rosa M^a Escudero Santiago

3.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencias:

- Manual del Ingeniero Químico. Robert H. Perry, Don W. Green. Editorial: McGraw – Hill. 7^a Edición.
- Plant Design and economics for Chemical Engineers. Max Stone Peters, Klaus D. Timmerhaus. Editorial: McGraw – Hill.
- Química Industrial. Asignatura de 4^o curso de Ingeniería Química (Plan 1999). Universidad de Almería.
- Economía y Organización Industrial. Asignatura de 5^o curso de Ingeniería Química (Plan 1999). Universidad de Almería.

DOCUMENTO 5:

PLIEGO

DE CONDICIONES

ÍNDICE

1.- DISPOSICIONES GENERALES.....	4
1.1.- Obras objeto del presente proyecto.....	4
1.2.- Obras accesorias no especificadas.....	4
1.3.- Documentos que definen las obras.....	4
1.4.- Compatibilidad y relación entre los documentos.....	5
1.5.- Protección individual frente a riesgos mecánicos.....	5
1.6.- Dirección de las obras.....	5
1.7.- Disposiciones generales a tener en cuenta.....	6
2.- PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	6
2.1.- Replanteo.....	6
2.2.- Movimiento de tierras.....	7
2.3.- Red horizontal de saneamiento.....	7
2.4.- Cimentaciones.....	7
2.5.- Forjados.....	8
2.6.- Hormigones.....	8
2.7.- Acero laminado.....	8
2.8.- Cubiertas y coberturas.....	9
2.9.- Albañilería.....	10
2.10.-Carpintería y cerrajería.....	11
2.11.-Aislamientos.....	11
2.12.-Red vertical de saneamiento.....	11
2.13.-Instalación eléctrica.....	12
2.14.-Instalación de fontanería.....	12
2.15.-Instalaciones de climatización.....	12
2.16.-Instalaciones de protección.....	13
2.17.-Obras o instalaciones no especificadas.....	13
3.- CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA.....	13
3.1.- Obligaciones y derechos del contratista.....	13
3.1.1.- Remisión de solicitud de ofertas.....	13
3.1.2.- Subcontratas.....	14

3.1.3.- Residencia del contratista.....	14
3.1.4.- Reclamaciones contra las órdenes de dirección.....	14
3.1.5.- Despido por insubordinación e incapacidad.	15
3.1.6.- Copia de los documentos.	15
3.2.- Trabajo, materiales y métodos auxiliares.....	15
3.2.1.- Libro de órdenes.....	15
3.2.2.- Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución.....	15
3.2.3.- Condiciones generales de ejecución de los trabajos.....	16
3.2.4.- Trabajos defectuosos.	16
3.2.5.- Obras y vicios ocultos.....	16
3.2.6.- Materiales no utilizables o defectuosos.	17
3.2.7.- Medios auxiliares.	17
3.3.- Recepción y liquidación.	18
3.3.1.- Recepciones provisionales.	18
3.3.2.- Plazo de garantía.....	18
3.3.3.- Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente. 18	
3.3.4.- Recepción definitiva.....	19
3.3.5.- Liquidación final.	19
3.3.6.- Liquidación en caso de rescisión.....	20
3.4.- Facultades de la dirección de obras.	20
4.- PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS.....	20
4.1.- Base fundamental.	20
4.2.- Garantía de cumplimiento y finanzas.....	20
4.2.1.- Garantías.....	20
4.2.2.- Finanzas.	21
4.2.3.- Ejecución de los trabajos con cargo a las finanzas.	21
4.2.4.- Devolución de la financia.....	21
4.3.- Precios y revisiones.....	21
4.3.1.- Precios contradictorios.	21
4.3.2.- Reclamaciones de aumento de precios.....	22
4.3.3.- Revisión de precios.	22
4.3.4.- Elementos comprendidos en el presupuesto.....	24
4.4.- Valoración y abonado de los trabajos.....	24
4.4.1.- Valoración de la obra.....	24

4.4.2.- Mediciones parciales finales.....	24
4.4.3.- Equivocaciones en el presupuesto.	25
4.4.4.- Valoración de obras incompletas.....	25
4.4.5.- Carácter provisional de las liquidaciones parciales.	25
4.4.6.- Pagos.	25
4.4.7.- Suspensión por retrasos de los pagos.....	26
4.4.8.- Indemnización por retraso de los trabajos.	26
4.4.9.- Indemnización por daños de causa mayor al contratista. .	26
4.5.- Varios.....	27
4.5.1.- Mejora de las obras.	27
4.5.2.- Seguro de los trabajos.....	27
5.- PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL.	28
5.1.- Jurisdicción.	28
5.2.- Accidente de trabajo y daños a terceros.....	28
5.3.- Pago de arbitrarios.....	29
5.4.- Causas de rescisión del contrato.....	29

1.- DISPOSICIONES GENERALES.

1.1.- Obras objeto del presente proyecto.

Se considerarán sujetas a las condiciones de este Pliego, todas las obras características, planos y presupuestos, que se adjuntan en las partes correspondientes del presente Proyecto, así como todas las obras necesarias para dejar completamente terminados los edificios e 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. Las obras accesorias, se construirán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando su importancia lo exija se construirán en base a los proyectos adicionales que se redacten. En los casos de menor importancia se llevarán a cabo conforme a la propuesta que formule la Dirección de la Obra.

1.2.- Obras accesorias no especificadas.

Si en el transcurso de los trabajos se hiciese necesario ejecutar cualquier clase de obras o instalaciones que no se encuentren descritas en este Pliego de Condiciones, el Adjudicatario estará obligado a realizarlas con estricta sujeción a las órdenes que, al efecto, reciba de la Dirección de Obra y, en cualquier caso, con arreglo a las reglas del buen arte constructivo.

La Dirección de Obra tendrá plenas atribuciones para sancionar la idoneidad de los sistemas empleados, los cuales estarán expuestos para su aprobación de forma que, a su juicio, las obras o instalaciones que resulten defectuosas total o parcialmente, deberán ser demolidas, desmontadas o recibidas en su totalidad o en parte, sin que dé derecho a ningún tipo de reclamación por parte del Adjudicatario.

1.3.- Documentos que definen las obras.

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entregue al Contratista, pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

Son documentos contractuales los Planos, Pliego de Condiciones, Cuadros de Precios y Presupuestos Parcial y Total, en su caso, que se incluyen en el presente Proyecto. Los datos incluidos en la Memoria y Anejos, así como la justificación de precios tienen 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.

1.4.- Compatibilidad y relación entre los documentos.

En caso de contradicción entre los planos y el 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.

1.5.- Protección individual frente a riesgos mecánicos.

Se van a enumerar los equipos de protección individual más utilizados para hacer frente a los riesgos mecánicos (golpes, pinchazos, abrasiones, etc) que afectan fundamentalmente al cráneo y a las extremidades.

1.6.- Dirección de las obras.

El contratista deberá seguir las instrucciones del Director de la obra en todo lo referente a calidad y acopio de materiales, ejecución de la obra, modificaciones del proyecto, programa de trabajo y precauciones a adoptar.

La propiedad nombrará en su representación a un Técnico Titulado, en quién recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente Proyecto. El Contratista proporcionará toda clase de facilidades para que la Dirección de Obra, o sus subalternos, puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia.

No será responsable ante la propiedad de la tardanza de los Organismos competentes en la tramitación del Proyecto. La tramitación es ajena al Director, quien una vez conseguidos todos los permisos, dará la orden de comenzar la obra.

1.7.- Disposiciones generales a tener en cuenta.

- Ley de contratos del Estado aprobado por Decreto 923/1965 de 8 de Abril.
- Reglamento General de Contratación para aplicación de dicha Ley aprobado por Decreto 3354/1967 de 28 de Diciembre.
- Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales vigentes del M.O.P.U.
- Normas Básicas (NBE) y Tecnológicas de la Edificación (NTE).
- Instrucción EHE de hormigón estructural.
- Instrucción EP-93 para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado.
- Métodos y Normas de Ensayo de Laboratorio Central del M.O.P.U.
- Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas MIBT complementarias.
- Reglamento sobre recipientes y aparatos a presión.
- Resolución General de Instrucciones para la construcción de 31 de Octubre de 1966.

2.- PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.

2.1.- Replanteo.

Antes de dar comienzo las obras, la Dirección de las obras, auxiliado del personal subalterno necesario y en presencia del Contratista o de su representante, procederá al replanteo general de la obra. Una vez finalizado el mismo se levantará acta de comprobación del replanteo. Los replanteos de detalle se llevarán a cabo de acuerdo con las instrucciones y órdenes de la Dirección de la Obra, quien realizará las comprobaciones necesarias en presencia del Contratista o de su representante. El Contratista se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

2.2.- Movimiento de tierras.

Se refiere el presente artículo a los desmontes y terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación, la excavación a cielo abierto realizada con medios manuales y/o mecánicos y a la excavación de zanjas y pozos. Se adoptan las condiciones generales de seguridad en el trabajo así como las condiciones relativas a los materiales, control de la ejecución, valoración y mantenimiento que especifican las normas:

- NTE-AD "Acondicionamiento del Terreno. Desmontes".
- NTE-ADE "Explanaciones".
- NTE-ADV "Vaciados".
- NTE-ADZ "Zanjas y pozos".

2.3.- Red horizontal de saneamiento.

Contempla el presente artículo las condiciones relativas a los diferentes aspectos relacionados con los sistemas de captación y conducción de aguas del subsuelo para protección de la obra contra la humedad. Se adoptan las condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial, control de la ejecución, criterios relativos a la prueba de servicio, criterios de valoración y normas para el mantenimiento del terreno, establecidas en la NTE "Saneamientos, Drenajes y Arrendamientos", así como lo establecido en la Orden de 15 de septiembre de 1986, del M.O.P.U.

2.4.- Cimentaciones.

Las secciones y cotas de profundidad serán las que la Dirección de la obra señale, con independencia de lo señalado en el Proyecto, que tienen carácter meramente informativo. No se rellenarán los cimios hasta que lo ordene la Dirección de Obra. La Dirección de la obra queda facultada para introducir las cimentaciones especiales o modificaciones que juzgue oportuno en función de las características particulares que presente el terreno. Se adoptan las condiciones relativas a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificados en las normas:

- NTE-csz "Cimentaciones superficiales. Zapatas".

- NTE-csc "Cimentaciones superficiales corridas".
- NTE-csl "Cimentaciones superficiales. Losas".

2.5.- Forjados.

Regula el presente artículo los aspectos relacionados con la ejecución de forjados pretensados autoresistentes armados de acero o de cualquier otro tipo con bovedillas cerámicas de hormigón y fabricado en obra o prefabricado bajo cualquier patente. Las condiciones de ejecución, de seguridad en el trabajo, de control de ejecución, de valoración y de mantenimiento, son las establecidas en las normas NTE-EHU y NTE-EHR así como en el R.D. 1630/1980 de 18 de Julio y en la NTE-EAF.

2.6.- Hormigones.

Se refiere el presente artículo a las condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial relacionados con la ejecución de las obras de hormigón en masa o armado o pretensado fabricados en obra o prefabricados, así como las condiciones generales de ejecución, criterios de medición, valoración y mantenimiento. Regirá lo prescrito en la Instrucción EHE de hormigón estructural y la instrucción EP-93 para las obras de hormigón pretensado. Asimismo se adopta lo establecido en las normas NTE-EH "Estructuras de hormigón", y NTE-EME "Estructuras de madera. Encofrados". Las características mecánicas de los materiales y dosificaciones y niveles de control son las que se fijan en los planos del presente proyecto (Cuadro de características EHE y especificaciones de los materiales).

2.7.- Acero laminado.

Se establecen en el presente artículo condiciones relativas a los materiales y equipos industriales relacionados con los aceros laminados utilizados en las estructuras de edificación, tanto en sus elementos estructurales, como en sus elementos de unión. Asimismo se fijan las condiciones relativas a la ejecución, seguridad en el trabajo, control de la ejecución, valoración y mantenimiento. Se adopta lo establecido en las normas:

- NBE-MV-102: "Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación". Se fijan los tipos de uniones, la ejecución en taller, el montaje en obra, las tolerancias y las protecciones.
- NBE-MV-103: "Acero laminado para estructuras de edificaciones", donde se fijan las características del acero laminado, la determinación de sus características y los productos laminados actualmente utilizados.
- NBE-MV-105: "Roblones de acero".
- NBE-MV-106: "Tornillos ordinarios calibrados para estructuras de acero".
- NTE-EA: "Estructuras de acero".
- NBE-EA/95. "Estructuras de acero en la edificación".

2.8.- Cubiertas y coberturas.

Se refiere el presente artículo a la cobertura de edificios con placas, tejas o plaquetas de fibrocemento, chapas finas o paneles formados por doble hoja de chapa con interposición de aislamiento de acero galvanizado, chapas de aleaciones ligeras, piezas de pizarra, placas de poliéster reforzado, cloruro de polivinilo rígido o polimetacrilato de metilo, tejas cerámicas o de cemento o chapas lisas de zinc, en el que el propio elemento proporciona la estanqueidad. Asimismo se regulan las azoteas y los lucernarios. Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipos de origen industrial y control de la ejecución, condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son los especificados en las siguientes normas:

- NTE-QTF: "Cubiertas. Tejados de fibrocemento".
- NTE-QTG: "Cubiertas. Tejados galvanizados".
- NTE-QTL: "Cubiertas. Tejados de aleaciones ligeras".
- NTE-QTP: "Cubiertas. Tejados de pizarra".
- NTE-QTS: "Cubiertas. Tejados sintéticos".
- NTE-QTT: "Cubiertas. Tejados de tejas".
- NTE-QTZ: "Cubiertas. Tejados de zinc".
- NTE-QAA: "Azoteas ajardinadas".
- NTE-QAN: "Cubiertas. Azoteas no transitables".

- NTE-QAT: "Azoteas transitables".
- NTE-OLC: "Cubiertas. Lucernarios. Claraboyas".
- NTE-QLH: "Cubiertas. Lucernarios de hormigón translúcido".
- NBE-MV-301/1970 sobre impermeabilización de cubiertas con materiales bituminosos. (Modificada por RD 2085/86 de 12 de Septiembre).

2.9.- Albañilería.

Se refiere el presente artículo a la fábrica de bloques de hormigón, ladrillo o prefabricados y revestimientos de parámetros, suelos, escaleras u techos. Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipos de origen industrial, control de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son las que especifican las normas:

- NTE-FFB: "Fachadas de bloque".
- NTE-FFL: "Fachadas de ladrillo".
- NTE-EFB: "Estructuras de fábrica de bloque".
- NTE-EFL: "Estructuras de fábrica de ladrillo".
- NTE-EFP: "Estructuras de fábrica de piedra".
- NTE-RPA: "Revestimiento de paramentos. Alicatados".
- NTE-RPE: "Revestimiento de paramento. Enfoscado".
- NTE-RPG: "Revestimiento de paramentos. Guarnecidos y enlucidos".
- NTE-RPP: "Revestimiento de paramentos. Pinturas".
- NTE-RPR: "Revestimiento de paramentos. Revocos".
- NTE-RSC: "Revestimiento de suelos continuos".
- NTE-RSF: "Revestimiento de suelos flexibles".
- NTE-RCS: "Revestimiento de suelos y escaleras continuos".
- NTE-RSS: "Revestimiento de escaleras y suelos. Soleras".
- NTE-RSB: "Revestimiento de suelo y escaleras. Terrazos".
- NTE-RSP: "Revestimiento de suelos y escaleras. Placas".
- NTE-RTC: "Revestimiento de techos. Continuos".
- NTE-PTL: "Tabiques de ladrillo".
- NTE-PTP: "Tabiques prefabricados".

2.10.- Carpintería y cerrajería.

Se refiere el presente artículo a las condiciones de funcionalidad y calidad que han de reunir los materiales y equipos industriales relacionados con la ejecución y montaje de puertas, ventanas y demás elementos utilizados en particiones y accesos interiores. Asimismo, regula el presente artículo las condiciones de ejecución, medición, valoración y criterios de mantenimiento. Se adoptará lo establecido en las normas:

- NTE-PPA "Puertas de acero".
- NTE-PPM "Puertas de Madera".
- NTE-PPV "Puertas de vidrio".
- NTE-PMA "Mamparas de madera".
- NTE-PML "Mamparas de aleaciones ligeras".

2.11.- Aislamientos.

Los materiales a emplear y ejecución de la instalación de aislamiento estará de acuerdo con lo prescrito en la norma NBE-CT/79 sobre condiciones térmicas de los edificios que en su anexo 5 establece las condiciones de los materiales empleador para aislamiento térmico así como control, recepción y ensayos de dichos materiales, y en el anexo nº6 establece diferentes recomendaciones para la ejecución de este tipo de instalaciones. La medición y valoración de la instalación de aislamiento se llevará a cabo en la forma prevista en el presente proyecto.

2.12.- Red vertical de saneamiento.

Se refiere el presente artículo a la red de evacuación de aguas pluviales y residuos desde los puntos donde se recogen, hasta la acometida de la red de alcantarillado, fosa aséptica, pozo de filtración o equipo de depuración, así como a estos medios de evacuación. Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento son las establecidas en las normas:

- NTE-ISS: "Instalaciones de salubridad y saneamiento".
- NTE-ISD: "Depuración y vertido".

- NTE-ISA: "Alcantarillado".

2.13.- Instalación eléctrica.

Los materiales y ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas MIBT complementarias. Asimismo se adoptan las diferentes condiciones previstas en las normas:

- NTE-IEB: "Instalación eléctrica de baja tensión".
- NTE-IEE: "Alumbrado exterior".
- NTE-IEI: "Alumbrado interior".
- NTE-IEP: "Puesta a tierra".
- NTE-IER: "Instalaciones de electricidad. Red exterior".

2.14.- Instalación de fontanería.

Regula el presente artículo las condiciones relativas a la ejecución, materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento de las instalaciones de abastecimiento y distribución de agua. Se adopta lo establecido en las normas:

- NTE-IFA: "Instalaciones de fontanería".
- NTE-IFC: "Instalaciones de fontanería. Agua caliente".
- NTE-IFF: "Instalaciones de fontanería. Agua fría".

2.15.- Instalaciones de climatización.

Se refiere el artículo a las instalaciones de ventilación, refrigeración y calefacción. Se adoptan las condiciones relativas a funcionalidad y calidad de materiales, ejecución, control, seguridad en el trabajo, pruebas de servicio, medición, valoración y mantenimiento, establecidas en las normas:

- Reglamento de Seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas e instrucciones MIIF complementarias.
- Reglamentos vigentes sobre recipientes a presión y aparatos a presión.
- NTE-ICI: "Instalaciones de climatización industrial".
- NTE-ICT: "Instalaciones de climatización-torres de refrigeración".
- NTE-ID: "Instalaciones de depósitos".

- Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria (R.D. 1618/1980 de 4 de Julio).
- NTE-ISV: "Ventilación".

2.16.- Instalaciones de protección.

Se refiere el presente artículo a las condiciones de ejecución, de los materiales de control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento, relativas a las instalaciones de protección contra fuegos y rayos. Se cumplirá lo prescrito en la norma NBE-CPI-91 y NBE-CPI-96 sobre condiciones de protección contra incendios y se adoptará lo establecido en la norma NTE-IPF "Protección contra el fuego", y EHE. Así como se adoptará lo establecido en la norma NTE-IPP "Pararrayos".

2.17.- Obras o instalaciones no especificadas.

Si en el transcurso de los trabajos fuera necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el presente Pliego de Condiciones, el Contratista queda obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba de la Dirección de la Obra quien, a su vez, cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El Contratista no tendrá derecho a reclamación alguna.

3.- CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA.

3.1.- Obligaciones y derechos del contratista.

3.1.1.- 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.

3.1.2.- Subcontratas.

Ninguna parte de la obra podrá ser subcontratada sin consentimiento previo, solicitado por escrito, del Director de la obra. Dicha solicitud incluirá los datos precisos para garantizar que el subcontratista posee la capacidad suficiente para hacerse cargo de los trabajos en cuestión.

La aceptación del subcontrato no libelará al Contratista de su responsabilidad contractual. El Director de la obra está facultado para decidir la exclusión de aquellos subcontratistas que no demuestren durante los trabajos poseer las condiciones requeridas para la ejecución de los mismos. El contratista deberá adoptar las medidas precisas e inmediatas para la rescisión de dichos contratos.

3.1.3.- Residencia del contratista.

Desde que se dé principio a las obras, hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberá residir en un punto próximo al de ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento de la Dirección de Obra y notificándole expresamente, la persona que, durante su ausencia le ha de representar en todas sus funciones. Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo que, como dependientes de la contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia, designada como oficial, de la Contrata en los documentos del proyecto, aún en ausencia o negativa de recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

3.1.4.- Reclamaciones contra las órdenes de dirección.

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas de la Dirección de Obra, 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 de la Dirección de Obra, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida

al Director, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en todo caso, será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

3.1.5.- Despido por insubordinación e incapacidad.

Por falta del cumplimiento de las instrucciones de la Dirección de Obra o sus subalternos de cualquier clase, encargados de la vigilancia de las obras; 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 la Dirección de Obra lo reclame.

3.1.6.- 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. La Dirección de la Obra, si el Contratista solicita estos, autorizará las copias después de contratadas las obras.

3.2.- Trabajo, materiales y métodos auxiliares.

3.2.1.- Libro de órdenes.

En la casilla y oficina de la obra, tendrá el Contratista el Libro de Ordenes, en el que se anotarán las que la Dirección de Obra precise dar en el transcurso de la obra. El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho Libro es tan obligatorio para el Contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones.

3.2.2.- Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución.

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al 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 7. El adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dará cuenta al Director, mediante oficio, del día en que se propone iniciar los trabajos, debiendo este dar acuse de recibo. Las obras quedarán terminadas dentro del plazo establecido. El Contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la Reglamentación Oficial del Trabajo.

3.2.3.- 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" del "Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación" 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 empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que la Dirección de Obra o sus subalternos no le hayan 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 abonan a buena cuenta.

3.2.4.- Trabajos defectuosos.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando la Dirección de Obra o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrán disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si esta no estimase justa la resolución y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá de acuerdo con lo establecido en el artículo 35.

3.2.5.- Obras y vicios ocultos.

Si la Dirección de Obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos. Los gastos de la demolición y de la reconstrucción que se ocasionen, será de

cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente; en caso contrario correrán a cargo del propietario.

3.2.6.- Materiales no utilizables o defectuosos.

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos sin que antes sean examinados y aceptados por la Dirección de Obra, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto del 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, la Dirección 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 de la Dirección de Obra.

3.2.7.- Medios auxiliares.

Es obligación de la Contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras aún cuando no se halle expresamente estipulado en los Pliegos de Condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga la Dirección de Obra y dentro de los límites de posibilidad que los presupuestos determinen para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

Será de cuenta y riesgo del Contratista, los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no cabiendo por tanto, al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares. Serán asimismo de cuenta del Contratista, los medios auxiliares de protección y señalización de la obra, tales como vallado, elementos de protección provisionales, señales de tráfico adecuadas, señales luminosas nocturnas, etc. y todas las necesarias para evitar accidentes previsibles en función del estado de la obra y de acuerdo con la legislación vigente.

3.3.- Recepción y liquidación.

3.3.1.- Recepciones provisionales.

Para proceder a la recepción provisional de las obras será necesaria la asistencia del Propietario, de la Dirección de la Obra y del Contratista o su representante debidamente autorizado. Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas 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 tres meses. Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar en el acta y se especificarán en la misma las precisas y detalladas instrucciones que la Dirección de Obra debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijándose un plazo 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 obra 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.

3.3.2.- Plazo de garantía.

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

3.3.3.- 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 que el edificio no haya sido ocupado 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, abonándose todo aquello por cuenta de la contrata. Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras,

como en el caso de recesión de contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que la Dirección de Obra fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del mismo corra a cargo del Contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y par los trabajos que fuere preciso realizar. En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar 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 las obras que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

3.3.4.- Recepción definitiva.

Terminado el plazo de garantía, se verificará la recepción definitiva con las mismas condiciones que la provisional, y si las obras 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 de la Dirección de la Obra, y dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y forma que se determinan en este Pliego. Si el nuevo reconocimiento resultase que el Contratista no hubiese cumplido, se declarará rescindida la contrata con pérdida de la fianza, a no ser que la propiedad crea conveniente conceder un nuevo plazo.

3.3.5.- Liquidación final.

Terminadas las obras, se procederá a la liquidación, 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 obra que no estuviesen autorizados por escrito a la propiedad con el visto bueno de la Dirección de Obra.

3.3.6.- 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 la rescisión.

3.4.- Facultades de la dirección de obras.

Además de todas las facultades particulares, que corresponden al Director, expresadas en los artículos precedentes, es misión específica suya la Dirección de Obra y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen bien por sí o por medio de sus representantes técnicos y ello con autoridad técnica legal, completa e indiscutible, incluso en todo lo no previsto específicamente en el "Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación", sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de los edificios y obras anejas se lleven a cabo, pudiendo incluso, pero con causa justificada, recusar al Contratista, si considera que el adoptar esta resolución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

4.- PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS.

4.1.- Base fundamental.

Como base fundamental de estas "Condiciones Generales de Índole Económica", se establece el principio de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción y Condiciones Generales particulares que rigen la construcción del edificio y obra aneja contratada.

4.2.- Garantía de cumplimiento y finanzas.

4.2.1.- Garantías.

La Dirección de Obra 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.

4.2.2.- Finanzas.

Se podrá exigir al Contratista, para que responda del cumplimiento de lo contratado, una fianza del 10 % del presupuesto de las obras adjudicadas.

4.2.3.- Ejecución de los trabajos con cargo a las finanzas.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones tratadas, la Dirección de Obra, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, 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.

4.2.4.- Devolución de la fianza.

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 8 días, una vez firmado el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificado del Alcalde del Distrito Municipal en cuyo término se halla emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra él 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.

4.3.- Precios y revisiones.

4.3.1.- Precios contradictorios.

Si ocurriese algún caso por 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 bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad. La Dirección técnica estudiará el que, según su criterio, deba utilizarse. Si ambos son coincidentes se formulará por la Dirección Técnica el Acta de Avenencia, igual que si

cualquier pequeña diferencia o error fuese salvado 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 aprobatoria del precio exigido por el Adjudicatario o, en otro caso, la segregación de la obra o 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 fijarle el Sr. Director y a concluir la satisfacción de éste.

4.3.2.- 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 las obras. Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, 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 de contrato, señalados en los documentos relativos a las "Condiciones Generales o Particulares de Índole Facultativa", sino en el caso de que la Dirección de Obra o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de 4 meses contados desde la fecha de adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en 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.

4.3.3.- Revisión de precios.

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello, que no se debe 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 cuenta y cuando así proceda, el acopio de materiales de obra en el caso de que estuviesen total o parcialmente abonados por el propietario.

Si el propietario o la Dirección de Obra, en su representación, no estuviere conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de 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 la Dirección de Obra, en su representación, no estuviere 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 precios.

4.3.4.- 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 andamio, vallas, elevación y transporte del material, es decir, todos los correspondientes a 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 graben los materiales o las obras 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 van comprendidos unos materiales accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra completamente terminada y en disposición de recibirse.

4.4.- Valoración y abonado de los trabajos.

4.4.1.- Valoración de la obra.

La medición de la obra concluida se hará por el tipo de unidad fijada en el correspondiente presupuesto. La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra, el precio que tuviese asignado en el Presupuesto, añadiendo a este importe el de los tantos por ciento que correspondan al beneficio industrial y descontando el tanto por ciento que corresponda a la baja en la subasta hecha por el Contratista.

4.4.2.- Mediciones parciales finales.

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de cuyo acto se levantará acta 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 de los documentos que se 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.

4.4.3.- Equivocaciones en el presupuesto.

Se supone que el Contratista ha hecho detenido estudio de los documentos que componen el 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 ejecutada 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.

4.4.4.- 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 los cuadros de descomposición de precios.

4.4.5.- Carácter provisional de las liquidaciones parciales.

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final. No suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación y 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 Obra, a cuyo efecto deberá presentar el Contratista los comprobantes que se exijan.

4.4.6.- Pagos.

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá, precisamente, al de las Certificaciones de obra expedidas por la Dirección de Obra, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

4.4.7.- Suspensión por retrasos de los pagos.

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

4.4.8.- 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 terminación de las obras contratadas, será: el importe de la suma de perjuicios materiales causados por imposibilidad de ocupación del inmueble, debidamente justificados.

4.4.9.- 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 los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se considerarán como tales casos únicamente los que siguen:

- Los incendios causados por electricidad atmosférica.
- Los daños producidos por terremotos y maremotos.
- Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de ríos superiores a las que sean de prever en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que el Contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus medios, para evitar o atenuar los daños.
- Los que provengan de movimientos del terreno en que estén construidas las obras.
- Los destrozos ocasionados violentamente, a mano armada, en tiempo de guerra, movimientos sediciosos populares o robos tumultuosos.
- La indemnización se referirá, exclusivamente al abono de las unidades de obra ya ejecutadas o materiales acopiados a pie de obra; en ningún caso comprenderá medios auxiliares, maquinaria o instalaciones, etc., propiedad de la Contrata.

4.5.- Varios.

4.5.1.- Mejora de las obras.

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que la Dirección de Obra haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el Contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que la Dirección de Obra ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

4.5.2.- 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 cuenta a nombre del propietario para que con cargo a ella, se abone la obra que se construya y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. 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 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 lo 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 la Dirección de Obra.

En las obras de reforma o reparación se fijará, previamente, la proporción de edificio que se debe asegurar y su cuantía, y si nada se previese, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte de edificio afectada por la obra. Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza

de seguros, los pondrá el Contratista antes de contratarlos en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

5.- PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL.

5.1.- 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.

5.2.- 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 atenderá 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 en cualquier aspecto.

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 andamio, 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.

5.3.- Pago de arbitrarios.

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.

5.4.- Causas de rescisión del contrato.

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

- La muerte o incapacidad del Contratista.
- La quiebra del Contratista.
- 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.

- Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes:
- 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.
- 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.
- 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.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido un año.
- El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.
- El incumplimiento de las condiciones del Contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de la obra.
- La terminación del plazo de ejecución de la obra, sin haberse llegado a ésta.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- La mala fe en la ejecución de los trabajos.

Almería, Junio de 2012.

El Alumno.

Fdo.: Rosa M^a Escudero Santiago.

DOCUMENTO 6:

SEGURIDAD

INDUSTRIAL

ÍNDICE

1.- TÉCNICAS DE SEGURIDAD.....	3
1.1.- Técnicas analíticas.....	3
1.1.1.- Técnicas analíticas anteriores al accidente.....	3
1.1.2.- Técnicas analíticas posteriores al accidente.....	3
1.2.- Técnicas operativas.....	3
1.2.1.- Técnicas que actúan sobre el factor técnico.....	3
1.2.2.- Técnicas que actúan sobre el factor humano.....	4
2.- TÉCNICAS ANALÍTICAS ANTERIORES AL ACCIDENTE.....	6
2.1.- Análisis de trabajo.....	6
2.2.- Inspecciones de trabajo.....	6
2.2.1.- Objetivos.....	7
2.2.2.- Lista de identificación de peligros.....	7
3.- PROTECCIÓN INDIVIDUAL.....	11
3.1.- Protección individual frente a riesgos mecánicos.....	12
3.1.1.- Protección del cráneo.....	12
3.1.2.- Protección de extremidades.....	12
3.2.- Protección integral.....	13
3.2.1.- Ropa de protección.....	13
3.2.2.- Protección contra caídas de altura.....	14
3.3.- Protección colectiva.....	14
4.- TÉCNICAS DE SEGURIDAD APLICADAS A LAS MÁQUINAS.....	15
4.1.- Protección de máquinas.....	15
4.2.- Peligros generados por las máquinas.....	16
4.3.- Mantenimiento de máquinas y equipos.....	16
5.- RIESGOS DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES.....	17
5.1.- Prevención y protección contra incendios.....	17
5.1.1.- Sistemas de detección y alarma.....	20
5.1.2.- Equipos y medios de extinción.....	20
6.- RIESGOS ELÉCTRICOS.....	22
6.1.- Factores que intervienen en el riesgo eléctrico.....	22

6.2.- Técnicas de seguridad ante contactos eléctricos.....	23
6.2.1.- Técnicas de seguridad informativas.	23
6.2.2.- Técnicas de seguridad de protección.	23
7.- UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS	24
7.1.- Almacenamiento de productos químicos.	24
7.2.- Manipulación de productos químicos.....	25
7.3.- Mantenimiento de instalaciones peligrosas.	26
8.- LEGISLACIÓN PARA LA SEGURIDAD INDUSTRIAL	26
9.- BIBLIOGRAFÍA.....	33

1.- TÉCNICAS DE SEGURIDAD.

1.1.- Técnicas analíticas.

1.1.1.- Técnicas analíticas anteriores al accidente

Inspección de Seguridad: Esta técnica tiene como objetivo básico de actuación el análisis de los riesgos y la valoración de los mismos para su posterior corrección antes de su actuación en accidentes.

Análisis de Trabajo: Consiste en identificar potenciales situaciones de riesgo asociado a cada etapa del proceso de trabajo.

Análisis Estadísticos: Su objeto es la codificación, tabulación y tratamiento de los datos obtenidos en los estudios de riesgos para poder obtener un conocimiento científico aproximado de las posibles causas de accidentes.

1.1.2.- Técnicas analíticas posteriores al accidente.

Notificación y Registro de Accidentes: Consiste en el establecimiento de métodos de notificación y registro de los accidentes ocurridos para su posterior tratamiento estadístico, a nivel de empresa, autonómico o nacional.

Investigación de Accidentes: Esta técnica tiene como objetivo la detección de las causas que motivan los accidentes notificados a fin de utilizar la experiencia obtenida en la prevención de futuros accidentes.

1.2.- Técnicas operativas.

1.2.1.- Técnicas que actúan sobre el factor técnico.

Diseño y Proyecto de Instalaciones o Equipos: Son técnicas operativas de concepción basadas en la inclusión de la seguridad en el proyecto o planificación inicial de las instalaciones o equipos, buscando la adaptación del trabajo al hombre y la supresión o disminución del riesgo.

Estudio y mejora de métodos: Son técnicas operativas de concepción basadas en el estudio, planificación y programación iniciales de los métodos de trabajo, buscando la adaptación de las condiciones de trabajo al hombre y la supresión o disminución del riesgo.

Normalización: Tiene como finalidad el establecer métodos de actuación ante diferentes situaciones de riesgo, evitando la adopción de soluciones improvisadas.

Sistemas de Seguridad: Son técnicas que actúan sobre los riesgos, anulándolos o reduciéndolos, sin interferir en el proceso (alimentación automática, interruptores diferenciales, etc.)

Señalización: Consiste en descubrir situaciones de riesgo que resultan peligrosas por el simple hecho de resultar desconocidos.

Mantenimiento Preventivo: Esta técnica, de gran importancia para la producción, consiste en evitar las averías, ya que si conseguimos su eliminación, estaremos suprimiendo los riesgos de accidentes.

Defensas y Resguardos: Consiste en obstáculos y barreras que impiden el acceso del hombre a la zona de riesgo.

Protecciones individuales: Esta técnica debe ser utilizada en último lugar o como complemento a técnicas anteriores cuando el riesgo no pueda ser eliminado a fin de evitar lesiones o daños personales.

1.2.2.- Técnicas que actúan sobre el factor humano.

Selección de Personal: Es la técnica operativa médico-psicológica, que mediante el empleo de análisis psicotécnicos permite acomodar el hombre al puesto de trabajo más acorde con sus características personales.

Formación: Es la técnica operativa que actúa sobre el sujeto de la prevención a fin de mejorar su comportamiento para hacerlo más seguro, debiendo actuar tanto sobre su comportamiento como sobre el conocimiento del trabajo que realiza, los riesgos que comporta y las formas de evitarlo.

Adiestramiento: Es la técnica operativa que actúa sobre el individuo a fin de enseñarle las habilidades, destrezas, conocimientos y conductas necesarias para cumplir con las responsabilidades del trabajo que se le asigna. Es una técnica de formación específica y concreta.

Propaganda: Es la técnica cuyo objetivo es conseguir un cambio de actitudes en los individuos por medio de la información hábilmente suministrada.

Acción de Grupo: Es la técnica que al igual que la propaganda, pretende conseguir un cambio de actitudes en el individuo por medio de la presión que el

grupo ejerce sobre sus miembros. Actúa mediante las técnicas psicológicas de dinámica de grupo.

2.- TÉCNICAS ANALÍTICAS ANTERIORES AL ACCIDENTE

2.1.- Análisis de trabajo.

El análisis de trabajo o puesto de trabajo aplicado a la seguridad en la empresa, no sólo debe basarse en la determinación de las causas de lesiones sino que, simultáneamente, deberán estudiarse las repercusiones económicas que representan los accidentes en la empresa con el fin de buscar la correlación existente entre las lesiones corporales y los daños materiales, ya que la seguridad debemos considerarla como un integrante más del sistema productivo de la empresa.

Se entiende por análisis o estudio de trabajo el conjunto de técnicas de estudio de métodos y medida del trabajo, mediante las cuales se asegura el mejor aprovechamiento posible de los recursos humanos y materiales para llevar a cabo una determinada tarea. Son numerosos los tipos de análisis de trabajo que se realizan en las empresas dependiendo del objetivo perseguido:

- Mejora de métodos de trabajo.
- Adecuación de la persona al puesto.
- Valoración del puesto.
- Adiestramiento de personal.
- Análisis de riesgos.

Es precisamente el análisis de riesgos el que mayor importancia reviste de cara a la prevención de riesgos laborales.

2.2.- Inspecciones de trabajo.

Por Inspecciones de Seguridad entendemos la técnica analítica que consiste en el análisis detallado de las condiciones de seguridad (máquinas, instalaciones, herramientas, etc.), a fin de descubrir las situaciones de riesgo que se derivan de ellas (condiciones peligrosas o prácticas inseguras) con el fin de adoptar las medidas adecuadas para su control, evitando el accidente (prevención) o reduciendo los daños materiales o personales derivado del mismo (protección).

2.2.1.- Objetivos.

Con la Inspección de Seguridad se pretende conseguir los siguientes objetivos:

- Identificación de causas.

La primera etapa a cubrir en la inspección consiste en la localización e identificación de las causas motivadas por las condiciones inseguras y las prácticas o actos inseguros, especificando claramente para cada una de ellas los elementos diferenciadores que permitan su clasificación y localización:

Forma o tipo de accidente previsible.

Agente material.

Parte del agente.

Previsible daño (tipo de lesión y ubicación).

- Estimación del riesgo.

La estimación del riesgo deberá realizarse determinando por un lado las potenciales consecuencias y por otro lado la probabilidad de que ocurra el suceso, pudiendo recurrir a su representación gráfica.

- Valoración del riesgo.

El valor obtenido en la estimación anterior permitirá establecer diferentes niveles de riesgo y su posterior representación sobre la matriz de análisis de riesgos.

- Control del riesgo.

Una vez realizada la valoración de los riesgos deberá procederse a su control mediante la aplicación de las técnicas operativas que se consideren adecuadas para su eliminación o reducción. En las medidas propuestas deberá tenerse en cuenta su grado de eficacia y el coste que la misma supone para la economía de la empresa.

2.2.2.- Lista de identificación de peligros.

Para realizar de forma eficaz la inspección de seguridad resulta conveniente poder contar con una guía o lista de inspección, que informe y recuerde los puntos que deben ser inspeccionados (agentes materiales causantes de los accidentes de trabajo) contestando normalmente a preguntas sencillas “verdadero o falso” o “cumple o no cumple”. Estas listas, para que sean eficaces, deberán reunir las siguientes características:

Debe ser sistemática y adecuada al tipo de empresa o de instalación a inspeccionar conteniendo los peligros más frecuentes en la misma.

Debe informar claramente sobre lo que debemos observar y donde se encuentran localizados.

Debe permitir su utilización en sucesivas inspecciones para conocer la eficacia de la inspección y para facilitar su realización.

A continuación, se incluye una relación que podrá ser utilizada en una primera inspección de seguridad, permitiendo a partir de ella su actualización y adaptación a cada caso concreto.

RELACIÓN PARA DETERMINAR FACTORES DE RIESGO

I. INSTALACIONES GENERALES

Estado de locales.

Estado de pisos.

Escaleras (tipo, uso, estado, etc.)

Pasillos y superficies de tránsito.

Puertas.

Aberturas en paredes

Separaciones entre máquinas.

Orden y limpieza.

Señalización.

Iluminación general.

Condiciones climáticas: ventilación.

II. INSTALACIONES DE SERVICIO

Instalación eléctrica:

Estado.

Tensión máxima.

Protecciones, etc.

Instalación de agua:

Estado.

Proximidad canalizaciones eléctricas.

Instalaciones de gases:

Instalaciones fijas.

Recipientes a presión.

III. INSTALACIONES DE SEGURIDAD

Instalaciones de incendio:

Bocas hidrantes.

Sistemas automáticos de detección y/o extinción.

Salidas de evacuación: estado, número, tipo.

Extintores.

Personal del servicio.

Mantenimiento de instalaciones.

Simulacros, etc.

IV. OPERACIONES DE MANUTENCIÓN

Manipulación manual:

Transporte de cargas: forma y cargas máximas.

Levantamiento de cargas: frecuencia y formas.

Almacenamiento: sistema y ubicación.

Transporte mecánico:

Carretillas elevadoras.

Aparatos y equipos elevadores: montacargas, puentes-grúa, etc.

Cintas transportadoras.

Maniobras: paso de cargas sobre personas.

Almacenamiento.

V. MÁQUINAS

Características técnicas.

Antigüedad.

Sistemas de seguridad.

Métodos de trabajo.

Puntos de operación: accesibilidad.

Frecuencias de las operaciones.

Número de operarios por máquina.

Periodicidad del mantenimiento preventivo.

VI. HERRAMIENTAS PORTÁTILES

Manuales:

Estado, utilización y almacenamiento.

Eléctricas:

Estado, tensión de alimentación, utilización y protecciones.

VII. RECIPIENTES A PRESIÓN

Calderas.

Compresores.

Estado de conservación.

Instalaciones.

Comprobación de pérdidas y fugas.

Protecciones.

VIII. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Existencia.

Marcado CE.

Estado y conservación.

IX. TRABAJOS CON RIESGOS ESPECIALES

Trabajos en altura.

Soldadura.

Manejo de sustancias tóxicas y peligrosas.

Exposición a radiaciones: tipo y tiempo de exposición.

X. CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES

Vapores.

Humos.

Gases.

Polvos.

Ruido (tipo, niveles, tiempo de exposición).

Vibraciones.

XI. CARGA DE TRABAJO

Esfuerzos.

Cargas.
Posturas.
Nivel de atención, etc.
Tipo de jornada.
Ritmo, automatización, etc.

A partir de esta lista se podrán detectar los peligros y estimar los riesgos, elaborando a partir de estos datos una Hoja de Riesgos Localizados, la cual podrá contemplar los siguientes aspectos:

Zonas a inspeccionar con mayor atención.
Peligros detectados.
Lugar de cada zona en la que se localizan los riesgos.
Tipo de inspección a realizar
Periodicidad.
Personas encargadas de realizar la inspección, etc.

3.- PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Se entiende por protección personal o individual la técnica que tiene como objetivo proteger al trabajador frente a agresiones externas, ya sean de tipo físico, químico o biológico, que se pueden presentar en el desempeño de la actividad laboral. Cuando el uso de las técnicas colectivas no resulta posible o conveniente, como medida complementaria de ella, se deberá recurrir a la protección individual.

La misión de la protección individual no es la de eliminar el riesgo de accidente, sino reducir o eliminar las consecuencias personales o lesiones que este pueda producir en el trabajador. De acuerdo con las Directivas Europeas 89/686/CEE y 89/656/CEE relativas a los equipos de protección individual, en lo sucesivo a EPIs, la primera de ellas traspuesta al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 1407/1992 de 20 de noviembre, por el que se regula las condiciones para la comercialización de los equipos de protección individual y la segunda por el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre condiciones mínimas de seguridad y salud en la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, se entiende por EPI "cualquier equipo

destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que pueda amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin".Excluido de la definición anterior queda la ropa de trabajo corriente y los uniformes que no estén específicamente destinados a proteger la seguridad y la salud de los trabajadores.

3.1.- Protección individual frente a riesgos mecánicos.

Se van a enumerar los equipos de protección individual más utilizados para hacer frente a los riesgos mecánicos (golpes, pinchazos, abrasiones, etc) que afectan fundamentalmente al cráneo y a las extremidades.

3.1.1.- Protección del cráneo.

Los riesgos fundamentales a los que puede estar sometida la cabeza, comprendiendo fundamentalmente la protección del cráneo, ya que los equipos utilizados para la protección de la cara y los específicos para la protección de las vías respiratorias, ojos y oídos están comprendidos fuera de los riesgos mecánicos, son los siguientes:

Condiciones atmosféricas.

Choques, impactos y caídas de objetos.

Enganches de cabello.

Radiaciones.

Sustancias contaminantes.

Agresivos químicos diversos.

Siendo los riesgos mecánicos los que pueden dar lugar a consecuencias más graves para el individuo, ya que puede producirse la rotura del cráneo, el equipo más utilizado es el casco de protección que, en casos especiales, puede ofrecer también protección frente a riesgos eléctricos, baja temperatura, etc. Los cascos de protección suelen estar fabricados con materiales no metálicos como polietileno, polipropileno, poliéster, nylon, etc.

3.1.2.- Protección de extremidades.

Dado que son muchos y variados los trabajos existentes en la industria en los que pueden presentarse diferentes tipos de riesgos para las extremidades,

resulta igualmente complejo poder establecer una clasificación de los elementos de protección utilizados en cada caso. En general, podemos considerar los elementos de protección en dos grupos:

- Elementos de protección de manos y brazos:

Aunque la mayor parte de los dispositivos de protección utilizados en máquinas tienen la misión de proteger las manos contra los riesgos graves de aplastamiento, amputaciones, etc., existen otra serie de lesiones de menos importancia por su origen, pinchazos, abrasiones, cortes, quemaduras, etc., frente a los cuales la protección individual constituye una eficaz medida.

Existe una clasificación de los tipos de guantes utilizados en la industria, atendiendo a los tipos de riesgos que se pueden presentar en el puesto de trabajo. Frente a esta clasificación, existen otros criterios de clasificación muy extendidos que hacen referencia a forma, tamaño y material utilizado en la fabricación de estos elementos.

- Elementos de protección de pies y piernas.

El calzado de seguridad constituye el elemento de protección de extremidades inferiores de uso más generalizado, existiendo, al igual que con los guantes, un tipo de calzado adecuado a cada tipo de riesgo (pinchazos, golpes, aplastamientos, quemaduras, agresivos químicos, deslizamientos, etc).

3.2.- Protección integral.

Se entiende por protección integral la constituida por elementos destinados a proteger al individuo frente a riesgos que actúan sobre todo el cuerpo (trajes ignífugos, arneses antiácidas, ropa de protección, dispositivos antiácida, chalecos salvavidas, etc).

3.2.1.- Ropa de protección.

Son aquellas prendas cuya misión es la de proteger al trabajador frente a riesgos específicos concretos. Dentro del grupo podemos incluir:

- Ropa especial contra agresivos químicos.
- Ropa especial contra agresivos térmicos (frío o calor).
- Ropa especial contra radiaciones.
- Prendas de señalización

3.2.2.- Protección contra caídas de altura.

Es conocida la problemática que encierran los trabajos en altura, motivada por una parte en la alta accidentabilidad con consecuencias graves o mortales y por otra parte, a la falta de planificación motivada generalmente por la brevedad y características de los trabajos. Para poder evitar o disminuir las consecuencias de las caídas de personas u objetos desde altura, deberán adoptarse una serie de medidas preventivas basadas en el análisis y estudio del puesto de trabajo, lo que conducirá a la adopción de los medios adecuados de protección colectiva o individual.

Se entiende por equipo de protección individual contra caídas de altura, los destinados a sujetar a la persona a un punto de anclaje para evitar cualquier caída de altura o para detenerla en condiciones de seguridad. Se clasifican en:

- Sistemas de sujeción (cinturón de sujeción).
- Sistemas anticaídas (argollas, mosquetones, etc).
- Dispositivos de anticaídas (arnés y sistema de bloqueo automático).
- Dispositivos de descenso.

3.3.- Protección colectiva.

Se entiende por protección colectiva aquella técnica de seguridad cuyo objetivo es la protección simultánea de varios trabajadores expuestos a un determinado riesgo. Entre los equipos empleados para este fin podemos nombrar:

- Redes de seguridad:

Redes de prevención para evitar la caída de personas.

Redes de protección para limitar la caída de personas.

- Redes elásticas: empleadas para evitar la caída de los trabajadores que trabajan a alturas superiores a 6 m, amortiguando los efectos de la caída.

4.- TÉCNICAS DE SEGURIDAD APLICADAS A LAS MÁQUINAS

4.1.- Protección de máquinas.

Para que los fabricantes, importadores y suministradores de máquinas puedan garantizar que los productos que fabriquen o comercialicen cumplen con las exigencias esenciales de seguridad y salud establecidas en las Directivas, deberán cumplir con las especificaciones de las correspondientes normas elaboradas por el CEN, ya que ello presupone la conformidad con los requisitos esenciales exigidos. En lo que se refiere al tema de protección de máquinas se han elaborado una serie de normas clasificadas según una jerarquía:

Normas de Tipo A: referidas a los principios y conceptos fundamentales de seguridad que pueden ser aplicados en todos los tipos de máquinas. Destacan por su interés:

UNE-EN 292-1: 1993 “Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: Terminología básica, metodología”.

UNE-EN 292-2: 1993 “Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 2: Principios y especificaciones técnicas”

UNE-EN V 1070: 1994 “Seguridad en las máquinas. Terminología

Normas de Tipo B: referidas a aspectos de seguridad o de un tipo de dispositivo que condiciona la seguridad, válidas para una amplia gama de máquinas. Se clasifican en:

UNE-EN 294: 1993 “Seguridad de las máquinas. Distancias de Seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores”.

UNE-EN 349: 1994 “Seguridad de las máquinas. Distancias mínimas para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano”.

Normas de Tipo C: normas de seguridad relativas a prescripciones de seguridad para una máquina concreto o grupo de máquinas. Se ha contado con

la autorización de AENOR para reproducir las tablas y esquemas en los que expresamente se citan las referencias a las correspondientes normas EN.

4.2.- Peligros generados por las máquinas.

Definido el peligro como toda fuente capaz de producir lesión o daño a la salud, podemos considerar los peligros de las máquinas clasificados en:

- mecánicos.
- eléctricos.
- térmicos.
- producidos por el ruido.
- producidos por las vibraciones.
- producidos por las radiaciones.
- producidos por materiales y sustancias.
- producidos por no respetar los principios ergonómicos en el diseño de máquinas.
- combinación de peligros.

4.3.- Mantenimiento de máquinas y equipos.

Las operaciones de reparación, limpieza o mantenimiento de las máquinas o equipos requieren que en ocasiones los medios de protección sean retirados de su sitio para facilitar estas operaciones, por lo que deberán adoptarse todas las precauciones y garantizar que una vez concluidas las operaciones de mantenimiento queden dispuestos en su mismo lugar.

Un buen servicio de inspección y mantenimiento debe garantizar que los medios de protección se encuentren siempre en perfecto estado de funcionamiento. Para lo cual su personal deberá haber recibido formación adecuada en cuanto a:

- Principios de seguridad en las máquinas.
- Seguridad frente a peligros eléctricos y mecánicos.
- Métodos seguros de trabajo, incluyendo permisos de trabajo y sistemas de bloqueo durante las operaciones de mantenimiento.

5.- RIESGOS DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

La gran cantidad de siniestros que se producen y el elevado porcentaje de pérdidas personales y materiales que normalmente ocasionan los incendios, obliga a considerar en profundidad el problema de la lucha contra incendios, existiendo la necesidad de resaltar las situaciones de riesgos de incendios y tomar las medidas oportunas para su prevención.

Para que se produzca el incendio se precisa de la concurrencia de tres factores, que se han dado en llamar “triángulo del fuego”: combustible, comburente y fuente de calor. Actualmente se habla, más que de triángulo de fuego, de “tetraedro del fuego”, al introducir un cuarto factor, el de la reacción en cadena:

a) Combustible: toda sustancia susceptible de combinarse con el oxígeno de forma rápida y exotérmica.

b) Comburente: toda mezcla de gases en la cual el oxígeno está en proporción suficiente para que se produzca la combustión.

c) Energía de activación: es la energía mínima necesaria para que se inicie la reacción. Depende del tipo de combustible y de las condiciones en las que se encuentra (presión, temperatura, concentración, etc). La energía de activación es proporcionada por todos los focos de ignición. Estos focos pueden ser eléctricos, mecánicos, térmicos y químicos.

d) Reacción en cadena: es el conjunto de sucesos, correlativos en el tiempo, que definen un incendio. Se distinguen las etapas de ignición, propagación y consecuencias.

5.1.- Prevención y protección contra incendios.

Una vez analizados los diferentes factores que intervienen en el incendio y la necesidad de que se presenten de forma conjunta para que se produzca el incendio, se desprende que para evitar su inicio y propagación deberá actuarse:

- Retirando el material combustible.
- Disponiendo sistemas de detección y alarmas.
- Utilizando equipos y medios de extinción.
- Planificando sistemas de evacuación.

Las medidas preventivas deben comenzar a aplicarse desde la fase de proyecto o de montaje de la nave industrial, local, etc., que es cuando las medidas a adoptar pueden resultar más fáciles, eficaces y económicas. Las medidas de prevención contra incendios se señalan brevemente a continuación:

1) Situación de la industria. Diseño: Resulta imprescindible, a la hora de fijar la situación de una nueva planta industrial, la realización de un estudio detallado, en el que se tengan en cuenta los edificios próximos existentes o por construir, su carácter industrial o de vivienda, las condiciones climáticas de la zona, abastecimiento de agua, facilidades de acceso, etc. Deberá continuarse con el estudio del proceso de trabajo y su disposición, localización correcta de almacenes de materias primas, productos semielaborados y acabados, etc.

Cuando no exista una completa separación entre los lugares peligrosos y el resto debemos disponer de sectores limitadores de incendio, mediante barreras verticales y horizontales resistentes al fuego. Entre los elementos de protección horizontal más significativos podemos incluir paredes cortafuegos, diques o cubetos, puertas cortafuegos, compartimentación, etc. y entre las de protección vertical están los techos, eliminación de cámaras huecas y conducciones, protección de aberturas que puedan favorecer el tiro vertical, ventanas de seguridad y evacuación de humos, etc.

2) Estructura y tipo de material a emplear: Los materiales a emplear en la construcción se clasifican atendiendo a su combustibilidad en las cuatro categorías siguientes:

- Materiales incombustibles o no inflamables. Aquellos que en su estado normal, bajo ninguna circunstancia pueden inflamarse, carbonizarse ni reducirse a cenizas.

- Materiales difícilmente combustibles o difícilmente inflamables. Aquellos que para inflamarse necesitan un contacto con llama, ardiendo lentamente y precisando de un aporte de calor exterior continuo.

- Materiales combustibles o medianamente inflamables. Aquellos que se inflaman en contacto con llama en un tiempo superior a 20 segundos y continúan ardiendo después de la inflamación sin necesidad de aporte exterior de calor.

- Materiales inflamables. Aquellos que se inflaman en contacto con llama en un periodo inferior a 20 segundos.

Los materiales inflamables no pueden emplearse en edificación, así como, aquellos materiales que al arder desprenden gases corrosivos y/o tóxicos.

3) Organización interna: Desde el punto de vista del riesgo de incendio, resulta de gran eficacia la ordenación correcta de los almacenes de materias primas, productos semielaborados, elaborados y subproductos, circulación de estos y su manejo. Es necesario recurrir a las normas y ordenanzas de aplicación a lo relativo a almacenamiento, volúmenes máximos, superficies máximas, pasillos, etc. Debe tenerse en cuenta el poder calorífico unitario de los productos almacenados, fijación de volúmenes máximos por unidad de superficie, altura de pilas, etc. Con lo cual se tendrá una idea de la intensidad y duración que cabe esperar en caso de incendio, así como, la velocidad y sentido de la propagación que nos permita programar y adoptar los medios de extinción adecuados.

4) Proceso de producción: El conocimiento del proceso de producción es de vital importancia para poder detectar las zonas con riesgos de incendios que puedan existir a lo largo del mismo. Deberán preverse instalaciones de extracción y ventilación adecuadas en aquellas instalaciones en las que existan operaciones que deben realizarse en atmósferas explosivas o inflamables de polvos o gases en los que basta un pequeño foco de ignición para que el incendio se produzca. De igual forma debe ser estudiada la ubicación de servicios e instalaciones auxiliares (instalación eléctrica, calderas, instalaciones de vapor, etc.) y los correspondientes elementos de protección.

5) Medidas generales: Las medidas de prevención básicas estudiadas deberán completarse con otras de tipo general, tales como:

Eliminación de los focos de ignición, atendiendo a las protecciones y aislamientos adecuados de las instalaciones eléctricas, protección contra la electricidad estática, aislamiento de focos caloríficos y atención especial a operaciones de soldadura separando las zonas de operación, prohibición de fumar, vigilancia, etc.

Orden y limpieza, evitando la acumulación de sustancias que puedan ser foco de ignición.

Creación de muros, pantallas y puertas cortafuegos, que aislen las zonas que se consideren más peligrosas.

5.1.1.- Sistemas de detección y alarma.

Se entiende por detección el descubrimiento de la existencia de un incendio, inevitablemente después de que se haya iniciado. La detección del foco de incendio es fundamental para evitar la propagación del fuego. Generalmente los incendios surgen lentamente, salvo los provocados por explosiones o inflamaciones rápidas, acompañado de las siguientes manifestaciones: gases, humos, llamas y calor. Y es precisamente en ellas, en las que se basan los sistemas de detección de incendios.

La detección rápida de un incendio debe ir acompañada de una correcta localización, ya que de no ser así los sistemas de detección serían ineficaces. La detección rápida y localización de un incendio puede conseguirse mediante los sistemas de detección, que tienen como misión la vigilancia permanente de los riesgos existentes. Estos pueden ser de dos tipos:

Detectores humanos o recorridos de inspección: consiste en la vigilancia continua del hombre mediante la realización de recorridos o visitas periódicas de inspección. Estos recorridos resultan efectivos al terminar la jornada y durante la noche. Otra modalidad es la vigilancia especial de todas aquellas operaciones consideradas como riesgo de incendio.

Detectores automáticos: son aparatos automáticos, sensibles a las variaciones del medio ambiente, que registran, comparan y miden automáticamente los fenómenos o variaciones que anuncian la aparición de un incendio (humo, gases, calor, llamas, etc.) transmitiendo la señal a la central.

5.1.2.- Equipos y medios de extinción.

Los procedimientos de extinción están basados en la eliminación de uno de los factores que componen el tetraedro del fuego. Debido a esto, la actuación sobre el incendio conlleva:

Eliminación del combustible.

Eliminación del comburente (sofocación).

Eliminación de la energía de activación (enfriamiento).

Eliminación de la reacción en cadena (inhibición).

AGENTES EXTINTORES:

Para lograr la extinción del incendio se recurre a los agentes extintores que se proyectan sobre los combustibles en ignición. Entre estos combustibles podemos mencionar los siguientes:

Agua: es la sustancia extintora más utilizada. Actúa como refrigerante y como sofocante de los incendios, ya que al evaporarse produce vapor de agua que cubre el fuego, dificultando el aporte de oxígeno. Unido a sus ventajas económicas, abundancia, disponibilidad, inocuidad, etc. presenta el inconveniente de que dispersa el incendio en líquidos y sólidos subdivididos, produce daños considerables y no puede utilizarse donde exista riesgo eléctrico.

Espuma: son burbujas de aire o gas, en base generalmente acuosa, que flotan en las superficies de los líquidos debido a su baja densidad, impidiendo que el combustible continúe en contacto con el aire. La espuma puede ser química (generada por reacción química) o física (generada por la mezcla de un producto espumógeno, agua y aire, con productos estabilizadores de la espuma). Presentan el inconveniente de no poder ser utilizada en fuego eléctrico (excepto la espuma de alta expansión) y ser muy corrosiva.

Anhídrido carbónico: es un gas que se licua por compresión y enfriamiento debiéndose almacenar en recipientes adecuados, ya que su presión es de 60 atmósferas a temperatura ambiente. Al descargar el CO₂ fuera del recipiente se expansiona produciéndose una especie de nieve conocida como nieve carbónica, la cual actúa como sofocante. Frente a la ventaja de no ser tóxica, su aplicación a fuegos eléctricos, no producir daños ni deterioros, salir autoimpulsado, etc. presenta los inconvenientes de no poder aplicarse a fuegos con brasas, ser poco efectivo en exteriores y producir asfixia en porcentajes superiores al 4%.

Polvos: se utilizan tres tipos de polvos: polvo normal B,C; polvo antibrasa A, B, C (polivalente); polvos especiales. Los polvos normales y polivalentes son sales metálicas con algunos aditivos, siendo el bicarbonato sódico o potásico el componente básico de los polvos normales. Los polvos normales, además de tener buenas cualidades extintoras son buenos inhibidores. Frente a la ventaja de ser aplicables a fuegos eléctricos y no ser tóxicos presentan el

inconveniente de no poder utilizarse en máquinas o instalaciones delicadas y tener peligro de reactivación del fuego al cesar el aporte de polvo.

SISTEMAS DE EXTINCIÓN

Equipos portátiles (extintores): son recipientes cerrados que contienen en su interior una sustancia extintora que puede ser proyectada y dirigida sobre un fuego por la acción de una presión interior. Estos equipos deben mantenerse a plena carga, en condiciones de funcionamiento y colocados en lugares adecuados, de forma visible. Deben someterse a inspecciones periódicas para verificar su estado.

Instalaciones fijas: formado por una red de tuberías, tanques de almacenamiento del agente extintor, equipos y elementos terminales que cubren permanentemente las zonas donde se localice algún riesgo de incendio.

6.- RIESGOS ELÉCTRICOS

El hecho de que la corriente eléctrica sea en nuestros días la energía más utilizada y que sea difícil su detección por los sentidos hace que las personas caigan a veces en cierta despreocupación y falta de prevención en su uso.

El riesgo eléctrico puede producir daños sobre las personas (contracción muscular, parada cardíaca y respiratoria, fibrilación ventricular, quemaduras, etc.) y sobre las cosas (incendios y explosiones).

6.1.- Factores que intervienen en el riesgo eléctrico.

Si el riesgo eléctrico, lo definimos como la posibilidad de circulación de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano, para que se de dicha probabilidad se requiere que:

El cuerpo humano sea conductor.

El cuerpo humano pueda formar parte del circuito.

Exista una diferencia de tensiones entre dos puntos de contacto.

En estas condiciones, el cuerpo humano se comporta como una resistencia de acuerdo con la ley de Ohm por lo que, teniendo en cuenta esto, se puede obtener la intensidad de corriente que pasa.

6.2.- Técnicas de seguridad ante contactos eléctricos.

Las medidas de seguridad utilizadas para controlar el riesgo pueden ser de dos tipos: informativos y de protección.

6.2.1.- Técnicas de seguridad informativas.

Reciben el nombre de medidas informativas aquellas que de algún modo previenen la existencia del riesgo. Pueden ser:

Normativas: consiste en establecer normas operativas de carácter específico para cada trabajo o generales coordinadas con las restantes medidas informativas.

Instructivas: consiste en la formación de los operarios que trabajan en riesgos eléctricos sobre la utilización correcta de aparatos y herramientas que manejan y el significado y simbología de la señalización.

De señalización: consiste en la colocación de señales de prohibición, precaución o información en los lugares apropiados.

De identificación y detección: consiste en la identificación y comprobación de tensiones en las instalaciones eléctricas antes de actuar sobre las mismas.

6.2.2.- Técnicas de seguridad de protección.

Las técnicas de seguridad de protección son las que protegen al operario frente a los accidentes eléctricos. Las podemos clasificar en: individuales y de la instalación.

Individuales: dentro de este grupo podemos considerar los guantes aislantes, cascos aislantes, tarimas y alfombras aislantes, pértigas de maniobra y de salvamento, calzado aislante, etc. Habrán de cumplir con las exigencias esenciales de seguridad y salud y consiguientemente llevar la marca CE.

De instalación: Se pueden dividir en:

Protección de los contactos directos: Se basan en los siguientes principios:

- Disposición que impida que la corriente eléctrica atraviese el cuerpo humano.

- Limitación de la corriente que pueda atravesar el cuerpo humano a una intensidad no peligrosa.

- Separación por distancia o alejamiento a las partes activas.

- Recubrimiento o aislamiento de las partes activas.

Protección de los contactos indirectos: Dentro de este grupo podemos considerarlas agrupadas en:

1) Sistemas de clase A:

- Separación de circuitos.
- Empleo de pequeñas tensiones de seguridad.
- Separación entre las partes activas y las masas accesibles por medio de aislamientos de protección.

- Conexiones equipotenciales.

2) Sistemas de clase B:

- Corte automático cuando aparece un defecto susceptible de favorecer, en caso de contacto con las masas, el paso a través del cuerpo humano de una corriente considerada peligrosa.

- Puesta a tierra de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto.

7.- UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Desde el punto de vista de la seguridad e higiene, se consideran productos químicos peligrosos, aquellos que por su carácter: tóxico, corrosivo, inflamables, explosivos, oxidantes, radiactivo o nocivo entrañan una cierta peligrosidad.

Los riesgos químicos son debidos bien a factores intrínsecos, propios de los productos en función de sus propiedades físico-químicas o reactividad química en las condiciones de uso, o bien a factores extrínsecos, dependiendo de las condiciones de inseguridad en las que se utilizan.

7.1.- Almacenamiento de productos químicos.

Las medidas preventivas a tener en cuenta en estas operaciones son las siguientes:

- Almacenar sólo las cantidades imprescindibles de cada producto peligroso si no existen restricciones legales.

- Aislar las zonas destinadas al almacenamiento, dotándola de los medios de prevención adecuados y si fuese posible, utilizar locales especiales.

- Elegir los recipientes adecuados a cada sustancia. De vidrio sólo para cantidades inferiores a 2 litros, si se trata de productos muy tóxicos y

corrosivos, y no superiores a 4 litros para líquidos inflamables. Si son de plástico es preciso tener en cuenta su posible envejecimiento. Por lo que cuando sea posible son más seguros los metálicos.

Si se trata de sustancias inflamables o combustibles y reductoras, deberán mantenerse separadas de las oxidantes y de las tóxicas, las cuales deberán mantenerse en locales bien ventilados.

En el caso de sustancias corrosivas los recipientes se colocarán lo más cerca posible del suelo y sobre bandejas que puedan retener posibles derrames por roturas.

7.2.- Manipulación de productos químicos.

Un elevado número de accidentes con productos químicos tienen lugar en las operaciones de manipulación y trasvase. Debiéndose por ello adoptar las medidas preventivas adecuadas para evitar los riesgos más frecuentes:

Contacto dérmico por rotura del envase durante el transporte o con sustancias derramadas.

- Transportar los envases de vidrio en contenedores de protección.
- Control de los envases de plástico.
- Empleo de envases seguros y diseñados ergonómicamente.
- Emplear envases adecuados.
- Neutralizar las sustancias derramadas con productos adecuados.

Proyecciones y salpicaduras en las operaciones de trasvase.

- Evitar el vertido libre desde recipientes (instalaciones fijas y sistemas de bombeo).

- Duchas de emergencia y lava ojos.
- Equipos de protección individual adecuados.

Incendios y/o intoxicaciones por evaporación de sustancias inflamables y/o tóxicas

- Controlar los desechos y residuos.
- Controlar los focos de ignición.
- Mantener los recipientes cerrados herméticamente.

Incendios en trasvases de líquidos inflamables por electricidad estática.

- Trasvasar a velocidades lentas y llenar por el fondo.
- Emplear recipientes metálicos.

- No utilizar ropa de trabajo de fibras acrílicas, sino de algodón.
- Contactos dérmicos en laboratorios
- Emplear sistemas mecánicos de pipeteado y dosificación.

7.3.- Mantenimiento de instalaciones peligrosas.

En los casos en que sea necesario tener que realizar operaciones de inspección o reparaciones en instalaciones y procesos peligrosos, se requiere la adopción de medidas especiales de carácter preventivo, toda vez que el personal e mantenimiento no suele tener conocimiento de los riesgos existentes.

Entre las medidas preventivas de carácter general, cabe incluir las denominadas autorizaciones de trabajo que, una vez cumplimentadas por los responsable d Fabricación y de Mantenimiento, permitirán actuar en condiciones de seguridad, utilizando procedimientos de trabajo, materiales y protección adecuados. Se tiene por ejemplo:

- Evaluar el riesgo de la atmósfera interior.
- Limpiar y ventilar suficientemente la zona de trabajo.
- Aislar la zona de trabajo.
- Disponer de medios adecuados para casos de emergencia.
- Formación del personal.

8.- LEGISLACIÓN PARA LA SEGURIDAD INDUSTRIAL

RIESGOS ESPECÍFICOS DE SEGURIDAD

1. Convenio 119 de la OIT de 26.6.93 sobre protección de máquinas (BOE 30.11.72)
2. RD 2177/1996, de 4 de octubre, por lo que se aprueba la norma Básica de Edificación NBE-CPI/96: Condiciones de protección contra incendios en los edificios (BOE 29.10.96).
3. RD 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores frente a riesgo eléctrico (BOE 21.6.01).

4. RD de 29.11.84, relativa al Manual de Autoprotección para el desarrollo del plan de emergencia contra incendios y de evacuación de locales y edificios (BOE 26.2 y 14.6.85).
5. RD 245/1989 de 27.2 sobre determinación y limitación de potencias acústicas admisible en determinado material y maquinaria de obra (BOE 11.3.89).
6. RD 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial (BOE 6.2.96).
7. RD 3275/1982 sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (BOE 1.12.82).

MEDIO AMBIENTE

1. LEY DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

B.O.J.A. 79; 31.05.94

Ley 7/1994, de 18 de mayo, de la Presidencia de la Junta de Andalucía.

2. REGLAMENTO DE RESIDUOS DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA ANDALUZA

B.O.J.A. 161; 19.12.95

Decreto 283/1995, de 12 de noviembre, de la CO de Medio Ambiente.

3. REGLAMENTO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ANDALUCÍA

B.O.J.A. 166; 28.12.95

Decreto 292/1995, de 12 de diciembre, de la CO de Medio Ambiente.

4. REGLAMENTO DE CLASIFICACIÓN AMBIENTAL

B.O.J.A. 3; 11.01.96

Decreto 297/1995, de 19 de diciembre, de la CO de la Presidencia.

5. PROCEDIMIENTO PARA LA TRAMITACIÓN DE AUTORIZACIONES DE VERTIDOS AL DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO-TERRESTRE Y DE USO EN ZONA DE SERVIDUMBRE DE PROTECCIÓN

B.O.J.A. 175; 04.11.94

Decreto 334/1994, de 4 de octubre, de la CO de Medio Ambiente.

6. REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE

B.O.J.A. 30; 07.03.96

Decreto 74/1996, de 20 de febrero, de la CO de Medio Ambiente.

7. REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE, EN MATERIA DE MEDICIÓN, EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE RUIDOS Y VIBRACIONES

B.O.J.A. 30; 07.03.96

Orden de 23 de febrero de 1996, de la CO de Medio Ambiente.

8. REGLAMENTO DE INFORME AMBIENTAL

B.O.J.A. 69; 18.06.96

Decreto 153/1996, de 30 de abril de 1996, de la CO de Medio Ambiente.

9. PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS DE ANDALUCÍA

B.O.J.A. 77; 05.07.97

Acuerdo de 17 de junio de 1997, de la CO de Medio Ambiente

B.O.J.A. 13.09.98

Decreto 134/1998, por el que se aprueba el Plan de gestión de Residuos Peligrosos de Andalucía.

10. REGLAMENTO DE ACTIVIDADES MOLESTAS, INSALUBRES, NOCIVAS Y PELIGROSAS

Las transferencias de competencias de la Administración del Estado a la Comunidad Autónoma de Andalucía afecta a los artículos 41, de 71 a 101, 151, 201, de 311 a 391, de 431 a 451 del presente Reglamento.

B.O.E. 292; 07.12.61

Decreto 2414/1961 de 30 de noviembre.

B.O.E. 57; 07.03.62

Orden de 15 de marzo de 1963. Instrucciones complementarias para la aplicación del Reglamento.

11. REGLAMENTO DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y SUS INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 Y MIE APQ-7.

ABASTECIMIENTO DE AGUA Y VERTIDOS

1. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA TUBERÍAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

B.O.E. 236; 02.10.74

Orden de 28 de julio de 1.974 del MI de Obras Públicas y Urbanismo.

B.O.E. 260; 30.10.74

Corrección de errores.

2. NORMAS BÁSICAS PARA LAS INSTALACIONES INTERIORES DE SUMINISTRO DE AGUA

B.O.E. 11; 13.01.76

Orden de 9 de diciembre de 1.975 del MI de Industria

B.O.E. 37; 12.02. 76

Corrección de errores.

B.O.E. 58; 07.03.80

Complemento del apartado 1.5 del Título 1.

3. REGLAMENTO DEL SUMINISTRO DOMICILIARIO DE AGUA

B.O.J.A. 81; 10.09.91

Decreto de 11 de junio de 1.991, de la consejería de la Presidencia de la Junta de Andalucía.

4. CONTADORES DE AGUA FRÍA

B.O.E. 55; 06.03.89

Orden de 28 de diciembre de 1.988 del MI de Obras Públicas y Urbanismo

5. CONTADORES DE AGUA CALIENTE

B.O.E. 25; 30.01.89

Orden de 30 de diciembre de 1.988 del MI de Obras Públicas y Urbanismo

AISLAMIENTO ACÚSTICO

1. NORMA NBE-CA-81 SOBRE CONDICIONES ACÚSTICAS EN LOS EDIFICIOS

B.O.E. 214; 07.09.81

Real Decreto 1909/1981 de 24 de julio del MI de Obras Públicas y Urbanismo

ELECTRICIDAD

1. REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN

B.O.E. 109; 07.05.84

Regulación del apartado 4.5 de la MI. BT. 014.

B.O.E. 297; 12.12.85

Adición de un nuevo párrafo al artículo 2 del REBT.

2. AUTORIZACIÓN DEL EMPLEO DEL SISTEMA DE INSTALACIÓN CON CONDUCTORES AISLADOS BAJO CANALES PROTECTORES DE MATERIAL PLÁSTICO

B.O.E. 43; 19.02.88

Resolución de 18 de enero de 1.988 de la Dirección General de Innovación

Industrial y Tecnológica, del MI de Industria y Energía.

3. EXIGENCIAS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL ELÉCTRICO DESTINADO A SER UTILIZADO EN DETERMINADOS LÍMITES DE TENSIÓN

B.O.E. 147; 14.01.88

Real Decreto 7/1988 de 8 de enero, del MI de Industria y Energía.

B.O.E. 147; 21.06.89

Desarrollo del Real Decreto 7/1988 de 6 de junio de 1.989.

4. SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LOS POLÍGONOS URBANIZADOS POR EL MI DE LA VIVIENDA

B.O.E. 83; 06.04.72

Orden de 18 de marzo de 1.972, del MI de Industria.

PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

1. NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN NBE-CPII96. CONDICIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN LOS EDIFICIOS

B.O.E. 261; 29.10.96

Real Decreto 2177/1996 de 4 de octubre del MI de Fomento.

B.O.E. 274; 13.11.96

Corrección de errores.

SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

1. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

B.O.E. 256; 25.10.97

Real Decreto 1627/1997 de 21 de octubre del MI de la Presidencia.

2. OBLIGATORIEDAD DE LA INCLUSIÓN DEL ESTUDIO DE LA SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN Y OBRAS PÚBLICAS

Ver disposiciones derogatorias y transitorias del Real Decreto 1627/1997.

B.O.E. 69; 21.03.86

Real Decreto 555/1986 de 21 de febrero de la Presidencia del Gobierno.

3. ORDENANZA GENERAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Ver disposiciones derogatorias y transitorias de:

Ley 31/1995, Real Decreto 485/1997, Real Decreto 486/1997, Real Decreto 664/1997, Real Decreto 665/1997, Real Decreto 773/1997 y Real Decreto 1215/1997.

B.O.E. 64; 16.03.71

B.O.E. 65; 17.03.71

Orden de 9 de marzo de 1.971 del MI de Trabajo.

4. PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

B.O.E. 269; 10.11.95

Ley 31/1995 de 8 de noviembre de la Jefatura del Estado.

5. REGLAMENTO DE LOS SERVICIOS DE PREVENCIÓN

B.O.E. 27; 31.01.97

Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, del MI de Trabajo y Asuntos Sociales.

B.O.E. 159; 04.07.97

Orden de 27, de junio de 1.997, del MI de Trabajo y Asuntos Sociales.

B.O.E. 104; 01.05.98

Real Decreto 780/1998, de 30 de abril, del MI de Trabajo y Asuntos Sociales.

6. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LOS LUGARES DE TRABAJO

B.O.E. 97; 23.04.97

Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, del MI de Trabajo y Asuntos Sociales.

7. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES CONTRA LOS RIESGOS RELACIONADOS CON LA EXPOSICIÓN A AGENTES CANCERÍGENOS DURANTE EL TRABAJO

B.O.E. 124; 24.05.97

Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, del MI de la Presidencia.

8. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES CONTRA LOS RIESGOS RELACIONADOS CON LA EXPOSICIÓN A AGENTES BIOLÓGICOS DURANTE EL TRABAJO

B.O.E. 124; 24.05.97

Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, del MI de la Presidencia.

B.O.E. 76; 30.03.98

Orden 25 de marzo de 1.998 por la que se adapta el Real Decreto anterior.

9. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO DE LAS EMPRESAS DE TRABAJO TEMPORAL

B.O.E. 47; 24.02.99

Real Decreto 216/1999, de 5 de febrero, del MI de Trabajo y Asuntos Sociales.

9.- BIBLIOGRAFÍA.

Referencia:

Cortés Díaz, J. M., "Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales". Ed Tébar, 2003.

Página web del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

DOCUMENTO 7:

PLANOS

ÍNDICE

PLANO 1: Plano de localización.

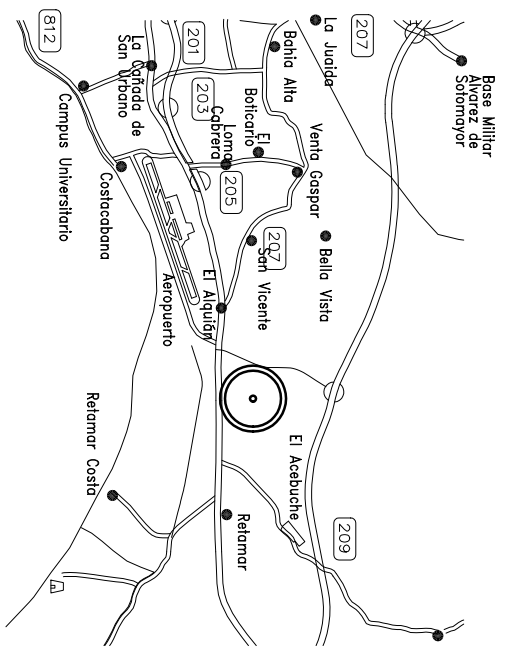
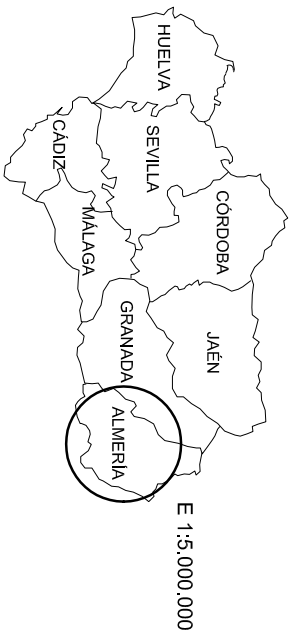
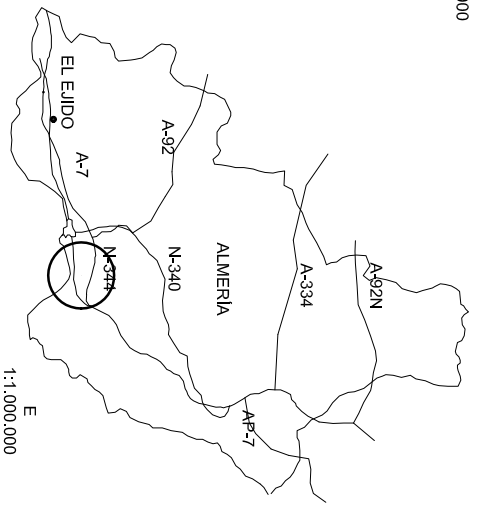
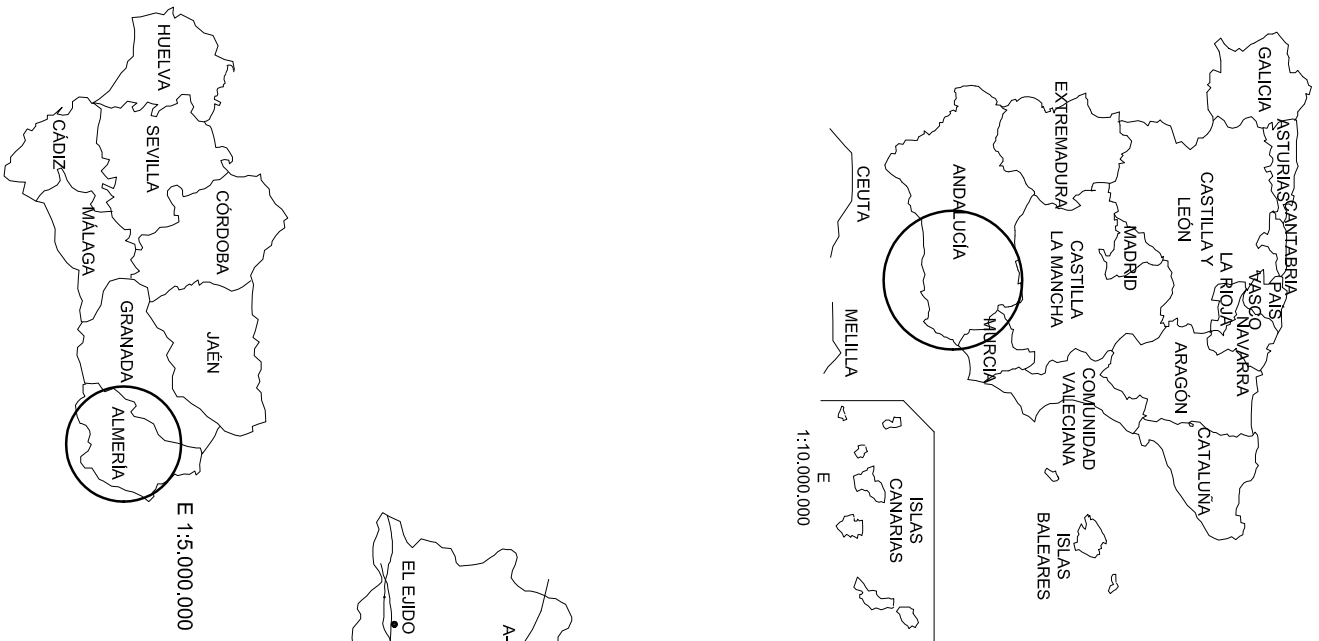
PLANO 2: Plano general de la planta.

PLANO 3: Planta del fotobioreactor.

PLANO 4: Distribución en planta.

PLANO 5: Diagrama de flujo del proceso.

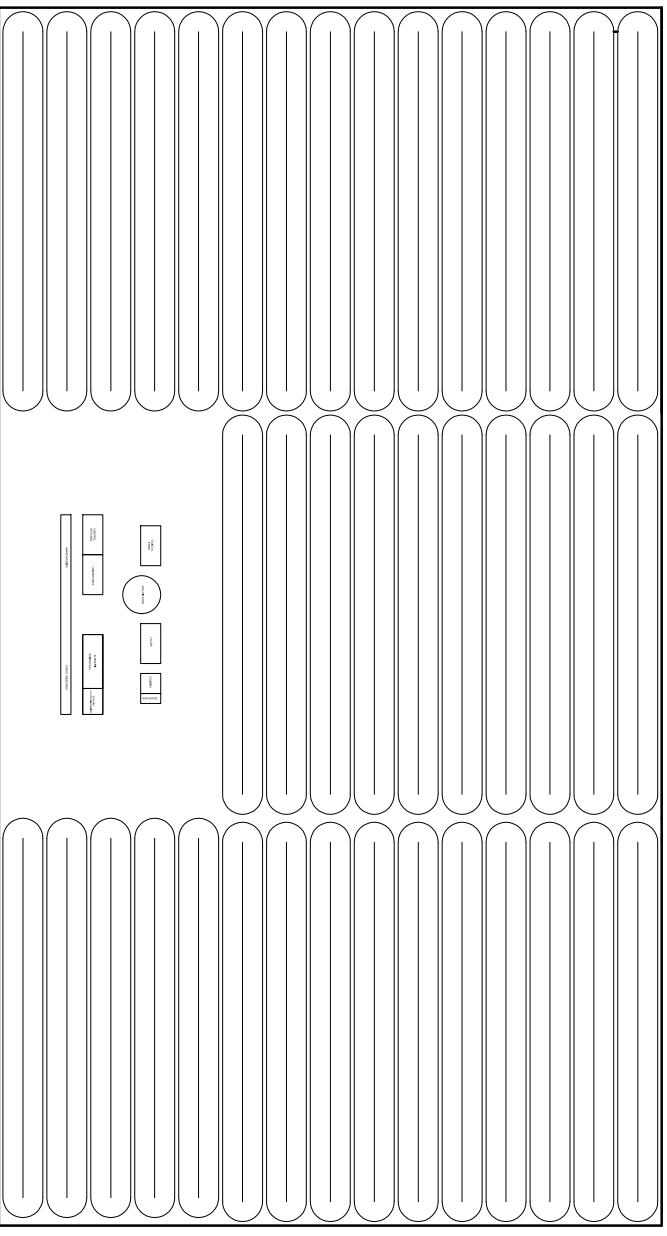
PLANO 6: Diagrama de instrumentación.



PROYECTO FIN DE CARRERA
Universidad de Almería
 Planta de producción de Microalgas con fines energéticos



Plano de localización.			
Dibujado por	Rosa María Escudero Santiago	Firma	Fecha
Revisado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha
Aprobado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha
Plano nº	1 de 6	Revisión nº	1
		Escala	varias

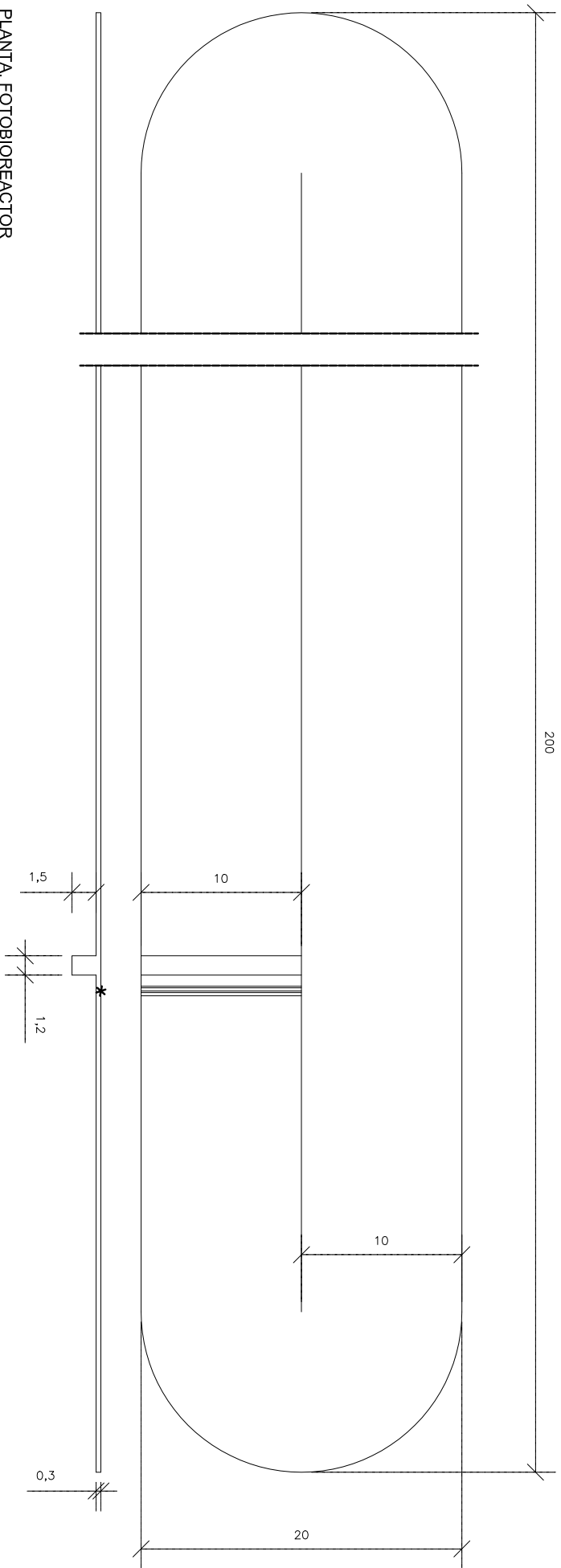


PLANTA GENERAL. E.:1/2500

PROYECTO FIN DE CARRERA
Universidad de Almería

Planta de producción de Microalgas con fines energéticos

Plano General de la Planta			
Dibujado por	Rosa María Escudero Santiago	Firma	Fecha
Revisado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha
Aprobado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha
Plano nº	2 de 6	Revisión nº	1
			Escala
			1/2500



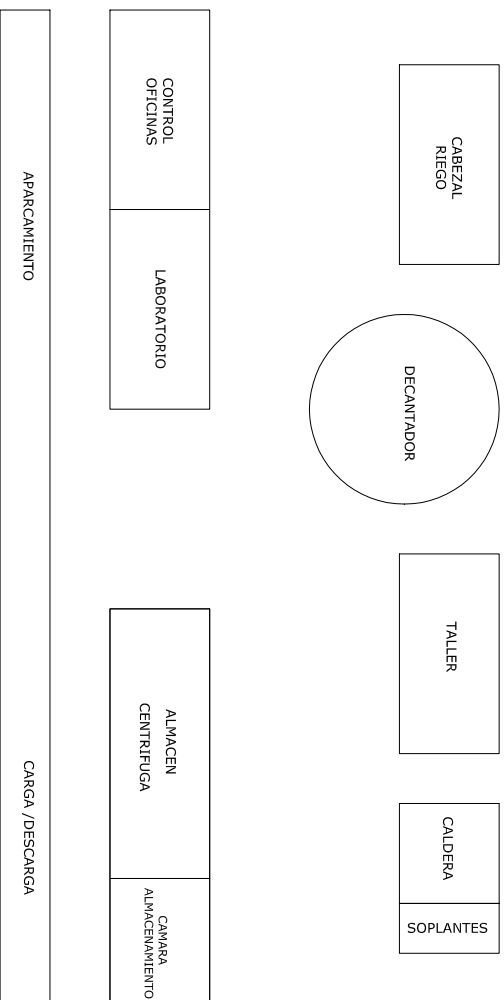
PLANTA. FOTOBIOREACTOR

PROYECTO FIN DE CARRERA
Universidad de Almería
 Planta de producción de Microalgas con fines energéticos



Planta. Fotobio reactor

Dibujado por	Rosa María Escudero Santiago	Firma	Fecha	18/03/12	
Revisado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha	20/03/12	
Aprobado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha	20/03/12	
Plano nº	3 de 6	Revisión nº	1	Escala	1/250

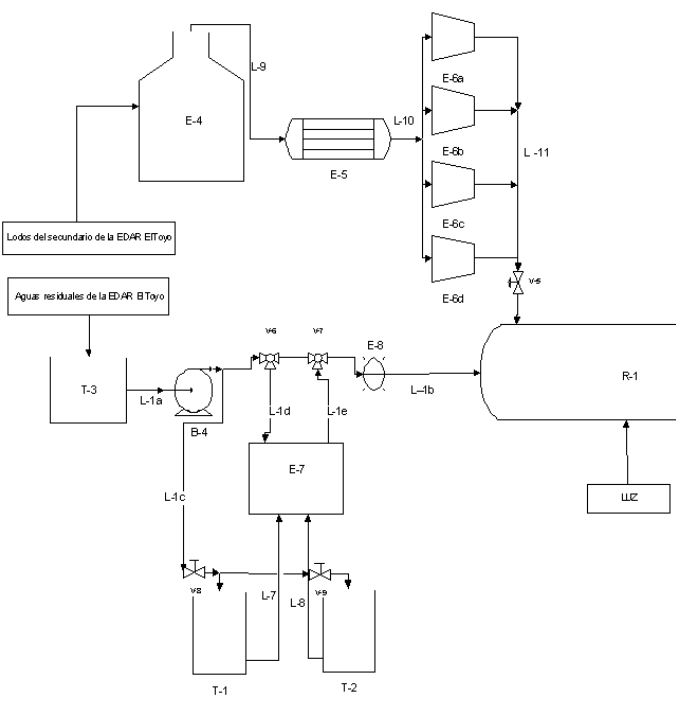
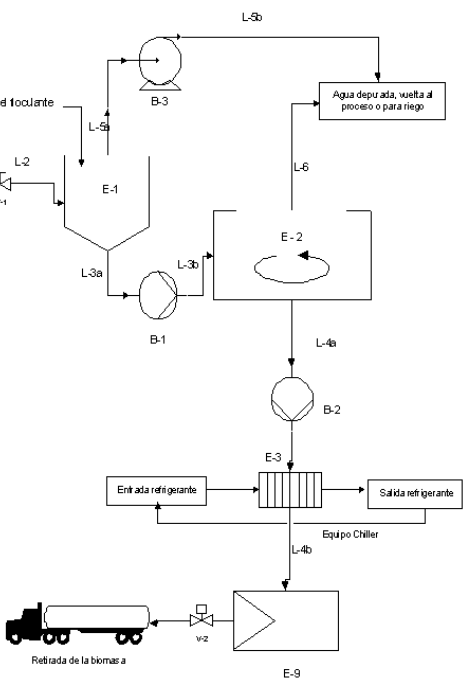


PROYECTO FIN DE CARRERA
Universidad de Almería
 Planta de producción de Microalgas con fines energéticos



Distribución en Planta

Dibujado por	Rosa María Escudero Santiago	Firma	Fecha	18/03/12	
Revisado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha	20/03/12	
Aprobado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha	20/03/12	
Plano nº	4 de 6	Revisión nº	1	Escala	1/500



Lista de equipos

Equipos	Tanques
R-1 Fotobiorreactores	T-1 Tanque de solución de NaNNO_2
E-1 Decantador	T-2 Tanque de solución de KH_2PO_4
E-2 Centrífuga	T-3 Balsa de recogida agua
E-3 Intercambiador de carcasa y rubos	Bombas
E-4 Caldera	B-1 Bomba de lodos al decantador
E-5 Intercambiador de tubos	B-2 Bomba de lodos a la centrífuga
E-6 Soplantes	B-3 Bomba centrífuga clarificando decantador
E-7 Cabezal de riego	B-4 Bomba de medio
E-8 Sistema UV	
E-9 Cámara de frío	

Lineas del proceso

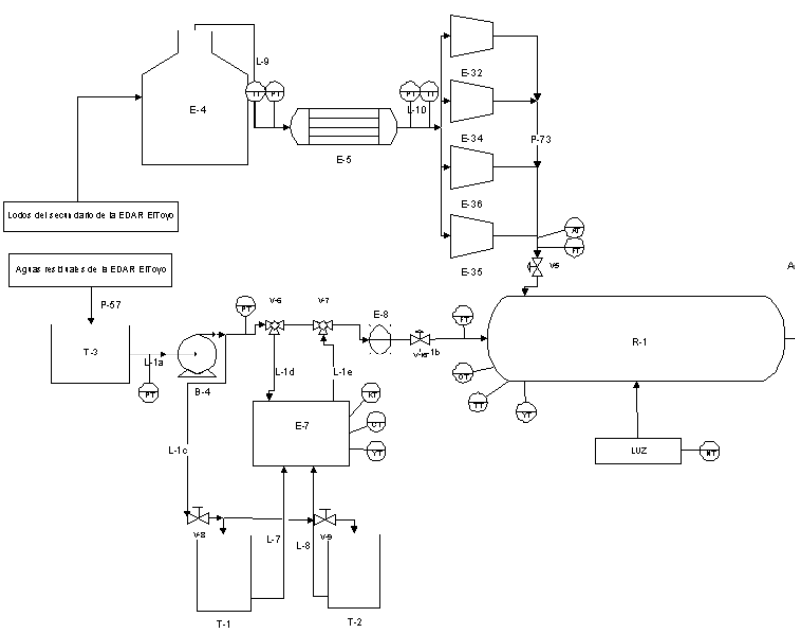
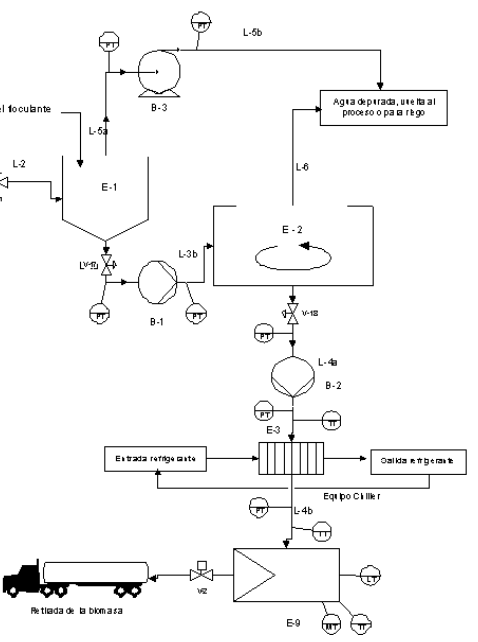
L-1a Entrada de agua residual, aspiración B-4	L-4b Clarificado decantador, aspiración B-3
L-1b Entrada medio a los reactores, impulsión B-4	L-5a Clarificado decantador, impulsión B-3
L-1c Entrada agua a los tanques	L-5b Clarificado centrífuga
L-1d Entrada de agua al cabezal	L-6 Solución de NaNNO_2
L-1e Salida de nutrientes del cabezal	L-7 Solución de NaNNO_4
L-2 Cosechado reactores	L-8 Solución de NaNNO_3
L-3a Lodo decantador, aspiración B-1	L-9 Gases de combustión caldera
L-3b Lodo decantador, aspiración B-1	L-10 Gases de combustión fríos
L-4a Lodo centrifugado, impulsión B-2	L-11 Gases combustión al reactor
L-4b Lodo centrifugado, impulsión B-2	

PROYECTO FIN DE CARRERA
Universidad de Almería
 Planta de producción de Microalgas con fines energéticos



Diagrama de flujo del proceso

Dibujado por	Rosa María Escudero Santiago	Firma	Fecha	18/03/12	
Revisado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha	20/03/12	
Aprobado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha	20/03/12	
Plano nº	5 de 6	Revisión nº	1	Escala	1/500



Nomenclatura de sensores	
KT	sensor/transmisor de tiempo
CT	sensor/transmisor de conductividad
LT	sensor de nivel
PT	sensor/transmisor de presión
TT	sensor/transmisor de temperatura
FT	sensor/transmisor de flujo o caudal
AT	sensor/transmisor-analizador de CO ₂
YT	sensor/transmisor de pH
OT	sensor/transmisor-analizador de O ₂
NT	sensor/transmisor de radiación solar
MT	sensor/transmisor de humedad

PROYECTO FIN DE CARRERA
Universidad de Almería
 Planta de producción de Microalgas con fines energéticos



Diagrama de Instrumentación

Diagrama de Instrumentación			
Dibujado por	Rosa María Escudero Santiago	Firma	Fecha
Revisado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha
Aprobado por	Fco. Gabriel Ación Fernández	Firma	Fecha
Plano nº	6 de 6	Revisión nº	1
		Escala	1/500