

# 1. MEMORIA JUSTIFICATIVA

## 1.1 Introducción

Este estudio trata sobre la producción de bioetanol a partir de un subproducto de la remolacha y la actividad metabólica de un tipo de hongo. Se pretende dar a conocer el uso de los reactores biológicos, la cinética de los organismos implicados, la evolución de las distintas variables, los diferentes sustratos posibles. En definitiva, el diseño de una planta piloto donde la producción de alcohol a través de la actividad de unos microorganismos concretos sea eficiente. Y para ello se aplica la biotecnología.

La biotecnología trata de unir los conocimientos científicos e ingenieriles y aplicarlos a procesos donde se ve involucrada la actividad de microorganismos y mediante su uso se obtienen bienes y servicios.

La biotecnología representa una integración de diferentes conocimientos y disciplinas científicas que abarcan la Bioquímica, la microbiología y la Ingeniería Química.

Esta disciplina utiliza agentes biológicos de distinta naturaleza, desde plantas o animales hasta microorganismos, células de tejidos animales o vegetales, enzimas, para obtener productos de utilidad en muy diversos campos, tales como el farmacéutico, médico, agrícola, ambiental, desarrollo de nuevos combustibles...

Las diferentes aplicaciones de la biotecnología van desde la obtención de antibióticos, ácidos orgánicos, alcoholes por procesos fermentativos hasta la depuración de aguas residuales. Y mediante la aplicación de la ingeniería genética se puede obtener la mejora de diferentes animales y plantas y hacer así más eficientes tales procesos.

La Ingeniería Bioquímica se centra en el desarrollo de tecnologías basadas en la utilización de catalizadores de origen biológico, aplicando los principios de la ingeniería química a tales procesos.

El ingeniero químico debe ocuparse tanto de las áreas a nivel molecular y celular como en la resolución de problemas en la producción de productos de interés industrial. Sus tareas comprenden los siguientes puntos:

- Mantenimiento y selección de biocatalizadores: enzimas, microorganismos o células animales o vegetales que tengan una actividad catalítica.
- Diseño y operación del sistema de reacción (reactores enzimáticos, biorreactores con biocatalizadores inmovilizados o libres, sistemas de cultivo celular, tiempo de aireación, potencia de agitación, condiciones de operación...)
- Desarrollo de sistemas de monitorización y control de procesos biotecnológicos.
- Diseño y operación de los procesos de recuperación y purificación de productos.

- Análisis y síntesis de procesos biotecnológicos.

Este proyecto se ha realizado para conseguir así un mayor campo de aplicación de los ingenieros químicos, ya que en los planes de la carrera de esta escuela no se tiene ninguna asignatura donde se trabaje de forma intensa con reactores biológicos y se diseñen tales procesos de operación.

## 1.2 Áreas de aplicación

El bioetanol se utiliza como sustitutivo de la gasolina, bien como único combustible o en mezclas. Por razones de miscibilidad entre ambos productos no se debe sobrepasar una concentración superior al 20% en volumen de etanol en la mezcla final.

El uso de mezclas, como la anteriormente especificada, no requiere cambios significativos en el motor del vehículo. Para ello el alcohol debe ser deshidratado a fin de eliminar los efectos indeseables del agua en la mezcla.

El empleo de etanol como único combustible debe realizarse en motores específicamente diseñados para tal biocombustible.

El bioetanol hace aumentar el octanaje de la gasolina y esto aumenta su calidad. Además al usar esta mezcla se está reduciendo el consumo de este combustible fósil, ya en peligro de extinción. Con el uso del bioetanol se comienza a valorizar los combustibles fósiles.

El bioetanol es una apuesta fuerte para el futuro de los combustibles. En capítulos posteriores se verá cómo influye este producto en muchos sectores, tanto económicos como sociales, medioambientales y científicos. Además se pueden reabrir las puertas a industrias obsoletas como las de la caña de azúcar, y así producir un aumento del producto interior bruto del país haciendo que este aumento no sea consecuencia directa de un aumento de la contaminación global sino todo lo contrario.

## 1.3 Antecedentes

En este apartado se ha realizado una búsqueda de los diferentes proyectos presentados en la escuela relacionados con este tema en cuestión.

Realmente, no existe proyecto de semejanza con éste, pero sí hay algunos que tratan el diseño de tanques de fermentación para la producción de la cerveza y su posterior almacenamiento. Este proyecto se hace llamar “Diseño de tanques de fermentación y guarda de 6000 hl de capacidad para una fábrica de cerveza”. Fue realizado en el 1998.

Existe otro que se titula de la siguiente forma “Planta para la obtención de azúcar de orujo por el método continuo de extracción y posterior fermentación dirigida para su conversión den alcohol”. Realizado en 1980

## 1.4 Objetivos

Este proyecto tiene varios objetivos, el primero y fundamental es el estudio de la evolución de los diferentes parámetros que afectan al proceso de producción de bioetanol. Para ello se centra en un periodo largo de experimentación donde se realizan diferentes experimentos y así se comparan los resultados con las predicciones teóricas previamente desarrolladas. Otra meta es el diseño de una planta de producción de bioetanol en base a tal fase experimental.

Y como objetivo intrínseco a todo esto, se hace una introducción al mundo de la biotecnología, la microbiología, los biocombustibles y al funcionamiento de los biorreactores.

De manera más concreta se recogen en los siguientes puntos los objetivos marcados:

- Comprender el proceso de fermentación y todos los aspectos relacionados con él.
- Conocer de manera precisa el proceso de fermentación de melaza de remolacha empleando *Saccharomyces Cerevisiae* como microorganismo, y controlar así las variables del proceso.
- Obtener etanol mediante el proceso de separación a partir de la fermentación.
- Analizar los factores que afectan al proceso en cuanto al rendimiento y duración.
- Diseño de una planta piloto de producción de etanol.

## 1.5 Metodología experimental

El procedimiento experimental consta de varias fases, la primera trata el diseño de experimentos, la segunda en la operación con el reactor y la tercera se refiere al proceso de separación, es decir, la destilación, la cuarta es la metodología llevada a cabo para la siembra y cultivo de los microorganismos.

En la primera se diseñan diversos experimentos donde se establecen valores diferentes a las variables para poder así descubrir el caso más óptimo y la influencia de éstas en el proceso.

La segunda fase es la de la reacción, se hace un estudio del funcionamiento del reactor y mediante la medición de los parámetros precisos y se halla la evolución de las variables fundamentales, y con esto se saca un rendimiento del reactor y la cinética para cada caso.

En la tercera se prepara una columna sencilla de destilación y mediante ésta se separa el producto, etanol, del producto final del reactor. Así se puede obtener el rendimiento global del proceso. Además de sacar el rendimiento de la propia columna.

Entre estas fases aparecen otras actividades como la siembra. Mantenimiento y cultivo de las levaduras. El procedimiento de la esterilización, la preparación del sustrato...

La fase experimental es lo más importante del proyecto ya que este último se basa en ella y así se comparan los análisis teóricos con los prácticos. Con todo ello se llega al diseño de una planta piloto de producción de etanol.

## 1.6 Resumen del proyecto

Este proyecto consta de cinco capítulos que describen el desarrollo de la fase experimental, la aplicación de ésta al diseño de una planta de producción de etanol, conclusiones generales y futuras líneas de investigación. Además se incorporan una serie de anexos donde se desarrollan conceptos generales y específicos del proceso en cuestión.

El primer capítulo es la presente Memoria Justificativa, a modo de introducción del propio proyecto, se explica el área de aplicación de tales operaciones, se definen conceptos fundamentales para la comprensión del estudio, se marcan los objetivos y se pone de manifiesto la metodología seguida en la fase experimental. También se buscan antecedentes a este estudio, los cuales nos pueden ayudar para la comprensión y mejora de lo ya existente.

El segundo capítulo se refiere al periodo experimental. Es el más importante ya que en él está basado todo el estudio. Se realiza una descripción de los experimentos llevados a cabo, del procedimiento seguido para la siembra de la levadura, la esterilización del sustrato, la preparación de este mismo. Además de definir las condiciones y el modo de operación. A través de este apartado se obtienen las conclusiones básicas para poder realizar el diseño de una planta piloto de producción de etanol.

En la fase experimental se realizan una serie de experimentos para poder así llegar a conocer cuáles son las condiciones óptimas del proceso. Además se desarrolla el modo de conseguir sustrato, levaduras, el mantenimiento de éstas, el modo de operación y la instrumentación necesaria para realizar tales experimentos con un rigor considerable.

Se ha usado un tanque de dos litros de capacidad, el sistema de agitación procura una mezcla perfecta. Este reactor tiene la posibilidad de aireación.

El producto obtenido se ha llevado a una sencilla columna de destilación. De aquí se separa el etanol y se obtiene la cantidad total producida en cada experimento, dependiendo ésta del rendimiento de conversión de cada estudio empírico.

Además en la fase experimental se comprueban que las predicciones teóricas coinciden con los resultados de los experimentos.

En el tercer capítulo se recoge el diseño básico de una planta piloto de producción de etanol. Éste se basa en una cinética de reacción sencilla como la de Monod para el crecimiento celular.

En el diseño de la planta piloto, se usan los datos empíricos obtenidos en el capítulo anterior y diferentes datos tabulados para llegar así a un boceto de lo que sería una planta piloto para la producción de etanol. Aquí se diseñan el modo del proceso, los tipos de tanques y su disposición, la capacidad de éstos, la velocidad de dilución, las variables de operación, el sistema de agitación y de aireación y su potencia y caudal respectivamente.

En los capítulos 4 y 5 se establecen unas conclusiones finales y unas futuras investigaciones que puedan mejorar lo realizado. Estas conclusiones se refieren tanto a las condiciones de operación, a los resultados, al diseño de la planta como al modo de operar para la obtención de bioetanol.

Sobre las futuras líneas de investigación se puede decir, resumidamente, que mejorando las condiciones de esterilización, usando un método de separación más eficiente, utilizando biocatalizadores inmovilizados y recirculando la corriente de salida, se puede mejorar considerablemente el rendimiento global del proceso.

Aparte de estos cinco capítulos se tiene un anexo donde se explican conceptos fundamentales para entender todo el proceso que este proyecto presenta.

El anexo 1 se refiere a las nuevas tecnologías que se están desarrollando en el campo de la investigación de los combustibles alternativos. De una forma general se hace un repaso a tales investigaciones que se están dando en toda Europa. También se define cada tecnología y cada combustible. Se explica el porqué de la búsqueda insistente de un nuevo combustible.

El carburante ideal debe cumplir una serie de características que hace prácticamente imposible llegar a su encuentro. Por un lado se busca una independencia del exterior, es decir, Europa pretende el desarrollo de una tecnología capaz de autoabastecerla. Por otro, se quiere reducir la emisión de los gases de invernadero y cumplir así con el acuerdo de Kyoto.

El carburante que sustituya a la gasolina o al gasoil debe tener las ventajas de éstos y no sus inconvenientes. Debe dar una autonomía al vehículo considerable, una seguridad aceptable y una disponibilidad adecuada. Es decir, se debe llegar a una infraestructura tal como la del mercado de los combustibles tradicionales.

Los biocarburantes son la alternativa más al alcance entre muchas.

Por un lado se encuentra el hidrógeno, que sería el combustible idóneo, por su ausencia de dióxido de carbono en su combustión. Además tiene una gran capacidad de almacenar energía. Pero no se dispone de la tecnología necesaria para reducir los costes de inversión. Además su generación se hace a través del uso de otra energía y ésta no debe nunca emitir gases de efecto invernadero ya que entonces no se solucionaría el problema.

El anexo 2 ahonda más en el propio tema de interés, el bioetanol. Se intenta explicar en éste las características generales y más específicas, sus diferentes usos y su presencia en diversos países.

El bioetanol es llamado bioetanol porque su síntesis se hace a través de las reacciones biológicas. Se considera un combustible alternativo porque reduce la emisión de gases de efecto invernadero y además también disminuye el consumo de gasolina.

Por otro lado se ve como una alternativa viable ya que la inversión inicial no es muy costosa porque se puede aprovechar el motor de la gasolina y la infraestructura de abastecimiento existentes para potenciar el mercado de este tipo de combustible.

El anexo 3 define el proceso de fermentación, las variables por el cual se rige, los fenómenos a tener en cuenta. Y se hace un esquema del proceso a escala laboratorio y a escala industrial.

La fermentación es un proceso que realizan muchos microorganismos, efectuando reacciones sobre algunos compuestos orgánicos y liberando energía. Sólo en condiciones fermentativas se da la oxidación parcial de los átomos de carbono del compuesto orgánico y una pequeña cantidad de la energía potencial disponible se libera.

Los anexos 4 y 5 tratan de los microorganismos y del sustrato. De su elección y de sus características.

El trabajo con microorganismos hace más difícil el control del proceso. Se debe procurar un buen alimento para obtener grandes conversiones de los azúcares en etanol.

Los microorganismos utilizados son hongos, levaduras de la especie *Saccharomyces* y de la clase *Cerevisiae*. Ésta fue obtenida de la facultad de biología. Estaba conservada a  $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$  con nitrógeno líquido. Para su reanimación se introdujo durante 48 horas en una estufa a  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$  sobre un sustrato sólido llamado YPD.

En estos anexos se explica cómo se obtienen las colonias de una cepa, como se mantienen y como se desarrolla su crecimiento.

Para ello se ha de elaborar un caldo de cultivo idóneo para conseguir los objetivos marcados. Este caldo debe tener una serie de macro y micronutrientes tales que propicien la buena actividad de las células. Esto se consigue adicionando en su justa medida algunos elementos, tales como el nitrógeno, el fósforo, algunas vitaminas,...

El anexo 6 deja paso a la cinética. La cinética de la biomasa, del producto y del sustrato. Aquí se desarrollan las ecuaciones y los modelos que se aplican a estos tipos de procesos.

El anexo 7 muestra las diversas formas de operar con un mismo reactor, el de tanque agitado. Además se hace una breve descripción de las nuevas tecnologías aplicadas al desarrollo de innovadores reactores donde el rendimiento se hace mucho mayor, pero también incrementan los costos de inversión.

El modo de operar es muy importante y condiciona las variables de operación. El uso de un modo u otro depende del objetivo del proceso y de la escala a la cual se está trabajando.

Por un lado están los reactores de mezcla perfecta y los de flujo en pistón. Dentro de cada modalidad existen diversas formas trabajo, en continuo, discontinuo, semicontinuo. La disposición de los reactores puede ser en serie, trabajando con recirculación. El uso de biocatalizadores inmovilizados, libres...

Existen infinidad de combinaciones, cada una de ellas con ventajas e inconvenientes. La elección de tales dependerá de las condiciones del proceso, del producto final a producir y de un conveniente análisis de costes.