



UNIVERSIDAD
POLITECNICA ZMG

DIVISIÓN ACADÉMICA DE
MECATRÓNICA

BIORREACTOR

Proyecto

Obtener el título de:

Ingeniería en Mecatrónica

PRESENTA:

Alcala Villagomé Mario.
Becerra Iñiguez Diego Armando.
Martinez Velazquez Lisbeth.
Murguía Chávez Nadia Sarahi.
Ramos Chávez Brayan Oswaldo.

Directores:

Ing. Moran Grabito Carlos Enrique
Ing. Razo Cerda Rosa María

Biorreactor.

Cinematica de Robots.
Ingenieria en Mecatrónica 7A

20 de septiembre de 2019

0.1. Problemática

Un biorreactor es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un bioreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicas activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aeróbico o anaerobio. Estos biorreactores son comúnmente cilíndricos, variando en tamaño desde algunos mililitros hasta metros cúbicos y son usualmente fabricados en acero inoxidable.

Un biorreactor puede ser también un dispositivo o sistema empleado para hacer crecer células o tejidos en operaciones de cultivo. Estos dispositivos se encuentran en desarrollo para su uso en ingeniería de tejidos. En términos generales, un biorreactor busca mantener ciertas condiciones ambientales propias (pH, temperatura, concentración de oxígeno, etc.) al organismo o sustancia química que se cultiva. El diseño de los biorreactores es una tarea de ingeniería relativamente compleja y difícil. Los microorganismos o células son capaces de realizar su función deseada con gran eficiencia bajo condiciones óptimas. Las condiciones ambientales de un biorreactor tales como flujo de gases (por ejemplo, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.), temperatura, pH, oxígeno disuelto y velocidad de agitación o circulación, deben ser cuidadosamente monitoreadas y controladas.

Por lo general al momento de realizar un biorreactor estos cuentan con medidores manuales que deben ser monitoreados en un determinado tiempo pero constante por los laboratoristas, al ser un trabajo que se tiene que ser constante, el personal que se encarga del monitoreo de las mediciones tales como son el pH, temperatura, presión e incluso la liberación de la presión.

0.1.1. Objetivo General

Elaboración de un sistemas semi-automatizado para la toma de pH, temperatura y presión de un biorreactor así como la instalación de una valvula de liberación de presión controlada mediante estandares requeridos.

Objetivos del proyecto

- ◇ Modelado matematico de los sensores.
- ◇ Diseño y simulación del funcionamiento de los sensores dentro del biorreactor.
- ◇ Utilización de base de datos para el registro de datos arrojados por los sensores.
- ◇ Selección y elección de sensores y actuadores.

0.1.2. Justificación

La implementación de un sistema semi-automatizado dentro de un biorreactor es util, puesto que se puede tener un control y ordenamiento de los datos necesarios para el monitoreo de las medidas necesarias para el control y supervisión del proceso dentro del biorreactor, de esta manera el laboratorista tiene una mejor lectura de sus datos sin tener que estar la mayoría del tiempo tomando medidas, pues se pretende que el sistema ayude a que las lecturas sean más claras y con mayor accesibilidad de una base de datos para consultoria del estado del proceso.

0.1.3. Delimitación

Una de las limitaciones que se presentan es que los sensores tiene que ser especialmente de grado alimenticio, puesto que tendran contacto con productos que se daran a consumo.

Además de que el biorreactor a donda va dirigido este proyecto, solo realiza cierto tipo de procesos, por lo que no es un biorreactor universal, debido a esto se requiere diseñar y adaptar sistemas para este biorreactor.

0.2. Cronograma de actividades

0.2.1. Matriz de posibles materiales y costos

Materiales	costo
Sensor de temperatura	300
Sensor de pH	820
Arduino	400
Sensor de presión	800
Electro valvula	250
Sensor de flujo de agua	300
Microcontrolador	500
Total	3,370

0.2.2. Matriz de roles

Signo	Leyenda
P	Responsabilidad
C	Colabora
I	Suministra información a los demás
MN	Mario Alcala Villagoméz y Nadia Sarahi Murguía Chávez
DB	Diego Armando Becerra Iñiguez y Brayan Oswaldo Ramos Chávez
LN	Lisbeth Martinez Velazquez y Nadia Sarahi Murguía Chávez

0.2.3. Diagrama Gantt

Actividades	MN	DB	LN	Fecha
Titulo del proyecto	P	C	I	16 al 20 septiembre
Planteamiento del problema	I	P	C	16 al 20 septiembre
Formular el Problema	I	C	P	16 al 20 septiembre
Objetivo general del proyecto	P	I	C	16 al 20 septiembre
Objetivos del proyecto	P	C	I	16 al 20 septiembre
Justificación	C	C	P	16 al 20 septiembre
Delimitación	C	I	P	16 al 20 septiembre
Matriz de posibles costos materiales	P	C	I	16 al 20 septiembre
Matriz de roles	I	C	P	16 al 20 septiembre
Diagrama de Gantt	P	I	C	16 al 20 septiembre
Explicación de la aportación de cada materia	C	P	I	16 al 20 septiembre
Desarrollo del proyecto	P	C	IP	-
Bibliografía	PI	CI	IP	-
Total P	7	2	6	-
Total C	3	8	3	-
Total I	4	4	6	-

0.3. Relación de materias

Materias de 7to	Detalles de la Aportación al proyecto
Inglés VII	Comprensión y Traducción de artículos, libros y manuales consultados.
Termodinámica	Análisis de temperatura para el manejo de sensores y el sensor de temperatura
Modelado de sistemas	Modelado matemático para el análisis para el uso de los sensores y sus respuestas
Administración y de proyectos	Gestión y organización, planeaciones y control de recursos económicos, materiales y humanos.
Cinemática de robots	Cálculo y especificaciones matemáticas para la correcta estructuración del biorreactor
Diseño y selección de materiales	Diseño y simulación de la estructura del biorreactor

Materias de 8vo	Detalles de la Aportación al proyecto
Ingles VIII	Comprensión y Traducción de articulos, libros y manuales consultados.
Ing. Asistida por computadora	Simulacion del diseño y funcionamiento del birreactor, tomando en cuenta el comportamiento de sus elementos
Ingenieria de Control	Instalacion de un sistema de control para los sensores de temperatura, ph y presion
Programacion de Sistemas Embebidos	Utilizacion y programacion de microcontroladores para el accionamiento de sensores
Dinamica de Robots	Movimiento y control de motores
Sistemas de Vision Artificial	Instalacion de un sistema de vision artificial para la inspeccion de calidad del producto
Adquisicion y procesamiento de señales	Visualizacion obtencion de señales analogicas convertidas en digitales para su visualizacion dentro de un entorno digital
Diseño de sistemas mecatronicos	Empleacion de planeaciones, organizacion y estructuracion de proyectos.

0.4. Biorreactores y su Aplicacion

En terminos generales, un biorreactor busca mantener ciertas condiciones ambientales propicias (pH, temperatura, concentracion de oxigeno, etc.) al organismo o sustancias que se cultiva.

La mayoría de los fabricantes usan recipientes, sensores, controladores y un sistema de control interconectados para su funcionamiento en el sistema de biorreacion. Se requiere de un intercambio de calor para mante el bioproceso a temperatura constante. La fermentacion biologica es una fuente importante de calor, por lo que en la mayor parte de los casos, los biorreactores requieren de agua de enfriamiento. Puede ser refrigerados con una chaqueta externa o, para recipientes sumamente grandes, con serpentines internos.

Lo primero que hay que entender en el diseño de reactores biologicos es que contrario a los quimicos, sucineticano esta determinada exclusivamente por la velocidad de reaccion y las variables que la determinan. Aunque se puede describir de manera similar a la quimmica, la cinetica bilogica tambien depende de características intrinsecas del organismo o cultivo tales como crecimiento y tasa de division celular, asi como del tipo de operacion que se lerve a cabo. Por eso lo primero que se define en el diseño de un biorreactor es el proposito de utilizacion; es decir, que tipo de cultivo se va a utilizar, el modo de operar y/o el proceso de cultivo. El conjunto biorreactor-sistema de cultivo debe cumplir con los siguientes objetivos:

1. Mantener las celulas uniformemente distribuidas en todo el volumen de cultivo.
2. Mantener constante y homogenea la temperatura.
3. Minimizar los gradientes de concentracion de nutrientes.
4. Prevenir la sedimentacion y la floculacion.
5. Permitir la difusion de gases nutrientes a la velocidad requerida por el cultivo.
6. Mantener el cultivo puro.
7. Mantener un ambiente aseptico.
8. Maximizar el rendimiento y la produccion.
9. Minimizar el gasto y costos de produccion.
10. REducir al maximo el tiempo.

0.4.1. Clasificacion

Clasificación operativa

Tanto biorreactores como fermentadores se clasifican primeramente de acuerdo al modo de operación: discontinuo, semicontinuo, continuo. Esta es una clasificación

operativa y se aplica a cualquier reactor, sea químico o biológico (biorreactor). En los reactores biológicos el modo de operación define el sistema de cultivo que es el mismo y delimita la clasificación procesal-productiva del bioproceso (cultivo). Al operar un biorreactor en una determinada categoría (discontinuo, semicontinuo, continuo), automáticamente queda determinado el modo de cultivo del sistema y se definen los parámetros y las características operativas y de diseño que intervienen en el proceso productivo del sistema.

Clasificación biológica

Los sistemas biológicos deben interaccionar con el ambiente externo para poder crecer y desarrollarse; es por eso que los biorreactores se clasifican biológicamente de acuerdo al metabolismo procesal del sistema de cultivo: anaeróbico, facultativo, aeróbico.

Los bioprocesos de cultivo y las fermentaciones están basados en el metabolismo celular del cultivo. El metabolismo define los parámetros y características operativas procesal del sistema de cultivo.

Estas características son las que intervienen en la parte biológica del sistema y tienen que ver con el crecimiento, productividad y rendimiento del cultivo; por lo que, definen la clasificación biológica- procesal del sistema de cultivo.

Clasificación biológica-operativa

Ambas clasificaciones; la biológica y la operativa, son procesalmente interdependientes y en su conjunto afectan el diseño final del biorreactor.

Al conjuntarse ambas clasificaciones, se conjuntan también la función operativa y la biológica para establecer entre ambas un propósito de utilización, el modo de cultivo y el bioproceso. Siendo el propósito de utilización, el destino de cultivo del biorreactor, para que tipo de cultivo va a ser utilizado el biorreactor, el modo de cultivo es sinónimo de sistema de cultivo y el bioproceso es en sí, todo el proceso. para la historia.

0.4.2. Modo de operación y sistemas de cultivo

El modo de operación de un sistema de cultivo, es sinónimo del modo de operar del biorreactor o fermentador. Este no solo influye en el diseño propio del reactor, también, en el modelo cinético de crecimiento del cultivo y en el proceso de producción. Existen tres modos de cultivo aunados a tres modos básicos de operación:

- Discontinuo(catch): por lotes o tandas, sin alimentación (F); se coloca dentro del biorreactor la carga total de cada proceso (tanda o lote) de cultivo o fermentación y se deja que se lleve a cabo el proceso productivo o la fermentación por el tiempo que sea necesario; el cual se denomina tiempo de retención.
- Semicontinuo (fed-batch): por lotes alimentados, con alimentación de entrada (F1); se alimenta una línea de entrada o alimentación (F1) para que el

sistema de cultivo tenga un producto (biomasa) con máximo de crecimiento (exponencial) y aumente la productividad.

- Continuo (continuos): por quimioestado, se alimenta una línea de entrada F1 o alimentación y se drena una línea de salida F2 o lavado; de manera que los flujos o caudales de ambas líneas sean iguales y la producción sea continua.

0.4.3. Clases y características

El análisis de las reacciones químicas y biológicas que ocurren en el ambiente receptor y en los sistemas de tratamiento es complejo por las muchas interacciones que interfieren en la interpretación de los resultados estadísticos. Para entender la naturaleza de los mecanismos que operan, se han desarrollado modelos para los procesos de transformación y tratamiento de los constituyentes de las aguas residuales. Estos modelos se basan en el análisis del sistema de flujo en el cual ocurren las reacciones. A continuación, se describen las clases de reactores empleados en el tratamiento de aguas residuales, se definen sus características hidráulicas y las aplicaciones más comunes.

clases de reactores

En el tratamiento de las aguas residuales se emplean reacciones químicas y biológicas que transcurren bajo condiciones controladas en el interior de unidades o tanques llamados reactores. Las principales clases de reactores actualmente empleados son:

1. Reactor de flujo, también llamado reactor batch o de cochada
2. Reactor de flujo pistón, conocido también como reactor de flujo tubular.
3. Reactor de mezcla completa o reactor de tanque agitado con flujo continuo
4. Reactores de mezcla completa conectados en serie
5. Reactor de lecho empacado
6. Reactor de lecho fluidizado; y
7. Reactor de manto de lodos con flujo ascendente

Las reacciones homogéneas se desarrollan usualmente en los cuatro primeros reactores; mientras que las heterogéneas suelen hacerlo en las tres últimas clases de reactores.

- Los biorreactores comúnmente tienen las siguientes características:
- El diseño de los biorreactores es cilíndrico

- Los biorreactores varían de tamaños milimétricos hasta llegar a los metros cúbicos
- La mayoría de los biorreactores son de acero inoxidable.
- Los biorreactores mantienen condiciones ambientales en un mismo estado
- Mantienen las células de un cultivo uniformemente distribuidas
- Los biorreactores previenen la sedimentación y la floculación

0.5. Aplicación de los biorreactores

Las principales aplicaciones de los biorreactores son:

1. Produccion de enzimas, proteínas y anticuerpos.

Para la producción de medicamentos a menudo se utiliza el cultivo de células o microorganismos en biorreactores. Se trata principalmente de procesos por lotes, en los que se llena el reactor por completo, y tras el transcurso del tiempo de reacción o de crecimiento se vuelve a vaciar. La presión y el nivel deben monitorizarse continuamente para poder obtener un producto final de alta calidad.

2. tratamiento de aire contaminado (bio-depuración).

En la contaminación del aire, la biorreacción simplemente es el uso de microbios para consumir contaminantes de una corriente de aire contaminado. Casi cualquier sustancia, con la ayuda de microbios, se descompondrá (desintegrará), dado el medio ambiente apropiado. Esto es especialmente cierto para los compuestos orgánicos. Sin embargo, ciertos microbios también pueden consumir inorgánicos, tales como el sulfuro de hidrógeno y los óxidos de nitrógeno.

3. Depuración de agua residuales.

Las principales áreas de aplicación e investigación para los biorreactores en la depuración de aguas residuales son a la fecha seis: revisiones críticas, aspectos fundamentales, tratamiento de aguas residuales municipales y domésticas, aguas residuales industriales, tratamiento para purificación de agua y otras, las cuales incluyen la remoción de gas, el tratamiento de lodos y la producción de hidrógeno. Con lo anterior, se puede observar que la aplicación e investigación en este campo está cobrando una importancia extraordinaria ya que la profundización en los fundamentos de la tecnología es básica para lograr un óptimo rendimiento de los biorreactores.

La aplicación de estas tecnologías permiten la separación del fango y el líquido mediante membranas, obteniendo ventajas importantes a la separación en los

tradiciones decantadores secundarios. El aumento de la demanda de agua ha impulsado la implantación de estos sistemas a escala real, especialmente en aquellos casos en que se plantea la posibilidad de reutilización de agua.

4. Biolixiviación de minerales.
5. Los biorreactores generalmente son utilizados para el cultivo de las células.
6. Los biorreactores ayudan a acelerar los cultivos celulares.
7. Los biorreactores son útiles en ingeniería de tejidos.

0.6. Biorreactor y la producción de cerveza

Los biorreactores pueden ser de dos tipos distintos.

Dentro del primer grupo se encuentran principalmente sistemas no asépticos donde no es imprescindible trabajar con cultivos completamente puros, por ejemplo: Los procesos de fabricación de cerveza, o sistemas de eliminación de efluentes, mientras que en el segundo tipo las condiciones asepticas son un prerrequisito para una formación de productos exitosa, como es el caso de los antibióticos, vitaminas y polisacáridos. Este tipo de procesos implica un reto considerable en lo que respecta a la ingeniería de construcción y manipulación.

La formación física de muchos de los biorreactores más ampliamente utilizados no ha cambiado mucho durante los últimos 40 años, sin embargo, recientemente con el fin de cubrir las necesidades de ciertos bioprocesos específicos. Estas innovaciones están encontrando papeles cada vez más especializados en la tecnología del bio-proceso.

En todas las formas de fermentación el objetivo en último término es asegurar que todas las partes del sistema se sometan a las mismas condiciones. Dentro del biorreactor los microorganismos se encuentran suspendidos en medio nutritivo acuoso que contiene los sustratos necesarios para el crecimiento del organismo y la formación del producto requerido. Todos los nutrientes, incluyendo el oxígeno, deben ser proporcionados para que se difundan dentro de cada célula y los productos de desecho tales como el calor, CO_2 y metabolitos de desecho deben ser eliminados.

La concentración de nutrientes en los alrededores del organismo debe mantenerse dentro de un rango preciso ya que los valores bajos limitarían la velocidad del metabolismo del organismo mientras que concentraciones excesivas pueden resultar tóxicas. Las reacciones biológicas más eficientes son aquellas que se desarrollan dentro de rangos óptimos de parámetros ambientales, y en los procesos biotecnológicos estas condiciones deben proporcionarse dentro de una microescala de tal forma que cada célula recibe las mismas. Si se considera la gran escala de muchos sistemas biorreactores, se percibe lo difícil que resulta alcanzar estas condiciones en todas las

capacidades del ingeniero bioquímico y el microbiólogo.

Las reacciones de fermentación son multifásicas e implican una fase gaseosa (que contienen N_2 , O_2 y CO_2), una o más fases líquidas (medio acuoso y sustrato líquido) y una microfase sólida (el microorganismo y, posiblemente, sustrato sólido). Todas las fases deben mantenerse en estrecho contacto para alcanzar una transferencia de calor y masa rápida. En un biorreactor perfectamente mezclado, todos los reactivos que entran en el sistema deben mezclarse inmediatamente y se distribuir uniformemente para asegurar la homogeneidad dentro del reactor.

Para alcanzar la optimización del sistema biorreactor, deben seguirse a rajatabla las siguientes normas operativas:

1. El biorreactor debe diseñarse para evitar la entrada de organismos contaminantes y para contener los organismos deseados.
2. El volumen de cultivo debe permanecer constante, es decir que no haya escapes ni evaporación.
3. El nivel de oxígeno disuelto debe mantenerse por encima de los niveles críticos de aireación y agitación del cultivo para organismos aerobios.
4. Los parámetros ambientales tales como la temperatura, pH, etc., deben controlarse, y el volumen del cultivo debe estar bien mezclado.

Los estándares de los materiales usados en la construcción de fermentadores sofisticados son importantes.

Los tecnólogos de la fermentación buscan alcanzar la optimización del potencial del cultivo mediante un control preciso del ambiente del biorreactor. No obstante, hay aún una gran laguna en lo referente al entendimiento de las condiciones ambientales que produzcan un rendimiento óptimo de organismo o producto.

Un bio-procesamiento exitoso solo tendrá lugar cuando se reúnan todos los parámetros relacionados con el crecimiento específico y la información sea usada para mejorar y optimizar el proceso. La descripción cuantitativa de los procesos celulares es un prerrequisito esencial para una exitosa operación comercial de estos bio-procesos. Los dos aspectos más relevantes, *rendimiento* y *productividad* son medidas cuantitativas que indican de qué manera las células convierten el sustrato en producto. El rendimiento representa la cantidad de producto obtenido a partir del sustrato mientras que la productividad determina la velocidad de formación de producto.

Para entender y controlar un proceso de fermentación es necesario conocer el estado del en un incremento de tiempo pequeño y, además, saber de qué forma responde el organismo a un conjunto de condiciones ambientales medible. La optimización del proceso requiere un control de realimentación agudo y rápido. En el

futuro, la computadora sera una parte integral de la mayoria de los sistema biorreactores. Sin embargo, se carece de unas buenas sensores que permitira que se haga un analisis en linea de los componentes quimicos del proceso de fermentacion.

Existe un gran mercado mundial para el desarrollo de nuevos metodos rapidos para la monitorizacion de muchas reacciones dentro de un biorreactor. En particular, la mayor necesidad recae en los diseños micro.electronicos innovadores.

Cuando se intenta mejorar el funcionamiento de los procesos o diseños existentes es aconsejable establcer modelos matematicos del sistema global. Un modelo es un conjunto de relaciones entre las variables del sistema que esta siendo estudiando. Tales relaciones se suelen expresar en forma de ecuaciones matematicas, pero pueden ser tambien especificas como relaciones causa/efecto que pueden ser usadas en el manejo de los procesos especificos. Las variables reales implícitas pueden ser muy numerosas e incluiran cualquier parametro que sea de importancia para el proceso, pudiendo incluir pH, temperatura, concentracion de sustrato, agitacion, velocidad de alimentacion, etc.

El sistema de fermentacion original era un tanque de poca profundidad ue se agitaba por mano de obra. A partir de este, se ha desarrollado el sistema basico de torre de aireacion que domina actualmente el uso industrial. A medida que los sistemas de fermetacion se ha ido desarrollado, se han implementado dos soluciones de diseño, para los problemas de aireacion y agitacion. El primer abordaje usa aireacion mecanica y dispositivos de energia relativamente altos. El segundo abordaje para el diseño de un biorreactor aerobico usa distribucion de aire (con bajo consumo energetico) para crear un flujo liquido forzado y controlado en un biorreactor con reciclo. De esta forma los contenidos se someten a un flujo por un bucle de reciclo externo. Asi, la agitacion se ha reemplazado por el bombeo, que puede ser mecanico o neumatico como en el caso del tipo del biorreactor de tipo *airlift*.

La cerveza se define como la bebida resultante de la fermentacion alcoholica, mediante una levadura seleccionada, en este caso *Saccharomyces spp.* de un mosto (harina molina de la malta) procedente de la cebada, solo o mezclado con otros productos amilaceos transformables en azucar por digestion enzimatica, adicionado con lipulo y/o sus derivados y sometido a un proceso de coccion.

La cerveza es uno de los productos mas antiguos. Los historiadores creen que ya existia en Mesopotania y Sumeria en el año 10,000 a.C. En la actualidad, los principales paises en la elaboracion de cerveza y cultura cervecera son Alemania, Belgica y Holanda. Sin embargo, el resto de Europa posee una importante produccion especialmente en los paises de Europa del Este.

0.6.1. Tipos

A pesar de que en la producción cervecera se emplean ingredientes similares. Existen diferentes tipos de cervezas en función de los ingredientes, mosto, tipo de fermentación, aspecto, etc.

A la hora de clasificar las cervezas, se pueden clasificar según los siguientes criterios explicados a continuación.

0.6.2. Extracto Seco Primitivo (E.S.P)

Es el conjunto de ingredientes orgánicos que componen el mosto antes de la fermentación con excepción del agua. La cantidad se expresa en gramos, por cada 100 gr. de mosto.

- Cerveza sin alcohol: E.S.P variable, entre 2 y 4.
- Cerveza tradicional: E.S.P no inferior a 11.
- Cerveza Especiales: E.S.P no inferior a 13.
- Cervezas Especiales Extra: E.S.P no inferior a 15.

Tipos de fermentación

Así, pues atendiendo al tipo de fermentación la cerveza puede clasificarse del siguiente modo.

- Cerveza de fermentación fija "baja o lager". Son cervezas, en general, claras (rubias), con amílicos dorados, intenso sabor a lupulo y muy refrescantes. Suelen elaborarse con maltas claras (poco tostadas) y las levaduras actúan a temperaturas comprendidas entre 6 y 8 grados centígrados. Transcurridos 8-10 días se depositan en el fondo de la cuba de fermentación.
- Cerveza de fermentación "alta o ale". Son cervezas, en general, de tonos oscuros, ya que se elaboran con maltas más oscuras. La levadura actúa a temperaturas comprendidas entre 14 y 20 grados centígrados. Transcurridos un máximo de 5 días ascienden a la parte superior de la cuba.
- Cervezas de fermentación espontánea. Son de fermentación alta que se fabrican, fundamentalmente en Bélgica, con un 70 por ciento de malta y un 30 por ciento de trigo candéal. A los mostos no se les agrega levadura y la fermentación tiene lugar por exposición al aire y contaminación con los microorganismos presentes en la bodega, lo que confiere a estas cervezas unas características genuinas. En algunas ocasiones, se realiza una segunda fermentación, tras la adición de cereza o frambuesa, que le confiere aromas y sabores especiales.

- Cervezas de fermentación limitada o controlada cerveza sin alcohol”. Son cervezas que se pueden realizar: (i) deteniendo el crecimiento de las levaduras de una fermentación normal mediante enfriamiento rápido a 0 °C, (ii) mediante maceración a alta temperatura, produciendo mostos modificados, (iii) empleando levaduras con capacidad limitada de fermentación, (iv) según el proceso “Barrell”, que implica la fermentación de dos lotes de mostos, uno normal y otro con menor cantidad de alcohol, y su mezcla posterior en proporciones predeterminadas para obtener productos con diferentes concentraciones de alcohol, (v) fermentación de un macerado cervecero para la elaboración del mosto lupulado.

0.6.3. Aspecto

Muchas cervezas reciben el distintivo de su color; cerveza ambar, roja, rubia, y negra.

procedimiento de fabricación

Puede ser un proceso tradicional o casero, o un procedimiento industrial.

Procedencia

Muchas cervezas se definen por su lugar de origen o por una denominación de origen controlada. (Pilsen, Munich, Viena, Dormunt...).

0.6.4. Elaboración de la cerveza

La malta de la cerveza esencialmente en fermentar el jugo azucarado extraído de los cereales y aromatización con lupulo. Por tanto, el proceso de elaboración de la cerveza consta de cuatro grandes fases: la preparación de la malta o malteado, producción del mosto, fermentación y procesamiento final.

Malteado

- Remojo:** La cebada, una vez clasificada y limpia, se remoja en agua a 10 - 15 grados centígrados, para aumentar su humedad hasta el 35 - 48 por ciento. Los periodos de remojo y seco se van condiciones óptimas de temperatura, humedad y aireación.
- Germinación:** Una vez finalizado el remojo de los granos de cebada se procede a transferir los granos al equipo de germinación en el que germinarán bajo las condiciones óptimas de temperatura, humedad y aireación.
- Secado y tostado:** La germinación de los granos de cebada se detiene mediante el secado de los mismos, un proceso que implica el secado y tostado de los granos reduciendo su contenido de humedad desde un 45 - 50 por ciento hasta el 2 - 5 por ciento. Esto se hace aumentando la temperatura, tostandola. Con

este tostado se modifica el aroma y el color de la malta mediante reacciones de Maillard.

Produccion del mosto

El objetivo principal de esta fase es la obtencion de un mosto dulce que, posteriormente sera aromatizado con lupulo y que debe obtenerse con el mayor grado de eficiencia posible mediante la extraccion de las materias primas empleadas. Para ello se requiere diferentes fases:

- a) **Molienda:** Tras la recepcion de la malta y los adjuntos en la industria cervecera, el material se pesa, criba y se hace pasar atravez de separadores magneticos con el fin de eliminar el polvo y las posibles particulas metalicas. A continuacion, la malta se tritura, reduciendo el endospermo del grano a un tamaño de particula que asegure una correcta hidratacion de las particulas en el proceso de extraccion y una buena liberacion de las enzimas que han de degradarla.
- b) **Maceracion:** El objetivo principal de la maceracion es la obtencion de un liquido o extracto, a partir de la malta y otros adjuntos, que posean la mayor cantidad posible de sustancias solubles en agua (por eje.: azucares, aminoacidos y proteinas) y que pueda servir finalmente para la obtencion, mediante fermentacion con levadura cervecera, de un liquido alcoholico con un perfil organoleptico especifico.
- c) **Filtracion:** El principio objetivo de esta etapa es obtener mosto con una baja turbidez (bagazo). Para ello, se separa el mosto liquido (mosto dulce) de la parte insoluble. La obtencion de este mosto se realiza a partir del mosto principal y de los lavados subsiguientes del bagazo (2 o 3), que permiten recuperar todo el extracto retenido en el mismo
- d) **Ebullicion:** Una vez filtrado el mosto se procedera a su ebullicion. Esta ebullicion se lleva acabo en calderas durante 60 - 90 min. y generalmente, a presion atmosferica con agitacion, aunque puede realizarse tambien a presion positivo, con la consiguiente liberacion de compuestos volatiles al final del proceso. Los objetivos principales de la ebullicion son los siguientes.
 - Inactivacion de las enzimas
 - Esterilizacion del mosto
 - Concentracion del mosto mediante la evaporacion del agua
 - Formacion de los compuestos procedentes de las reacciones de Maillard, produciendose color por caramelizacion de azucares, formacion de melanoidinas y oxidacion de taninos, con la consiguiente formacion de compuestos volatiles que generan aromas diversos.
 - Adicion del lupulo al mosto dulce con los siguientes efectos principales: Aportacion de sabores amargos, procedentes de las humulonas del lupulo, mediante isomerizacion de los α - acidos a iso - α - acidos; adicion de aceites esenciales y taninos; reduccion de la tension superficial debida a

estos aceites, y mejora de las espumas de la cerveza por la presencia de los iso - α - ácidos.

- e) **Clarificación, enfrentamiento y aireación:** La clasificación del mosto se realiza en "tanques remolino." "whirlpool tanks" consiste en la eliminación de:
- Los conos de lupulo empleados, así como de las partículas de ellos hayan generando.
 - Los residuos que puedan quedar si se emplean pastillas de lupulo y/o la turbidez formada durante la cocción.

Una vez clarificado, el mosto se dirige hacia los tanques de fermentación con una temperatura de, aproximadamente, 100 grados centígrados, sin embargo, el mosto debe enfriarse a 10 - 12 grados.

Finalmente, dado que las levaduras cerveceras requieren oxígeno para su crecimiento, se producen la aireación u oxigenación del mosto una vez enfriado para evitar su oxidación.

Fermentación

La fermentación alcohólica constituye el fenómeno biológico principal para la obtención de la cerveza y consiste en una serie de actividades metabólicas de la levadura por medio de las que el mosto lupulado se transforma en cerveza verde. Este mosto contiene todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de la levadura, entre los que se incluyen carbohidratos (50 - 60 por ciento de maltosa, 15-20 por ciento de maltotriosa y 10 - 15 por ciento de glucosa), fuentes de nitrógeno (aminoácidos) y una gran cantidad de minerales.

A partir de estas sustancias nutritivas, la levadura produce los principales componentes del sabor de la cerveza como subproductos de la actividad metabólica necesaria para su propio crecimiento celular. La fermentación alcohólica se inicia al adicionar la levadura seleccionada (0.5-1.0 — de levadura por hl de mosto) al mosto lupulado y aireado y tiene lugar a una temperatura de 10-20 grados centígrados, dura entre 5-10 días y consta de las siguientes etapas.

- Fase de latencia (aprox. 24 h). La levadura permanece inactiva absorbiendo oxígeno, aminoácidos, pépticos y sales minerales.
- Fase de crecimiento y fermentación. En esta fase, la vía principal de producción de energía en la levadura es la fermentación alcohólica, ya que la vía aeróbica o respiración, cuyo rendimiento de energía es muy superior al de la fermentación, está inhibida por la ausencia de oxígeno.
- Fase de fermentación sin crecimiento (fase estacionaria). La multiplicación cesa pero la masa celular continúa creciendo debido a la acumulación interna de glucógeno. En esta etapa, aparecen los ésteres y alcoholes superiores y , simultáneamente, los azúcares se agotan lentamente.

- Fase de floculación. La levadura se deposita en el fondo del tanque, en el caso de la fermentación baja, o en la superficie, en el caso de la fermentación alta.

Una vez finalizada la fermentación, la levadura se somete a un proceso de separación que conduzca a la obtención de la cerveza verde. Conviene destacar que la levadura recuperada posee muy buenas características para reutilizarse en fermentaciones posteriores haciéndose innecesariamente la producción continua de cultivos puros. Esta levadura se conserva en refrigeración (0-4 grados centígrados) en soluciones tamponadas, en cerveza o incluso en mosto.

0.6.5. Procesos finales

El producto resultante de la fermentación principalmente es indudablemente cerveza, no obstante, contiene partículas en suspensión y, por consiguiente, esta turbia, carece de suficiente carbonatación, el sabor no está del todo maduro, es inestable desde el punto de vista microbiológico y físico y puede requerir correcciones del color. Para obtener una cerveza con unas características organolépticas adecuadas se requieren de los siguientes procesos:

- Maduración.** La maduración de la cerveza, requiere la presencia de la levadura, que va a consumir los carbohidratos fermentables presente en la cerveza verde (fermentación secundaria). Se realiza a 0-2 grados centígrados y dura una semana aproximadamente. Los objetivos principales de esta etapa son los siguientes
 - Modificación del sabor de la cerveza. Después de la fermentación principal, la cerveza verde posee un fuerte sabor a la levadura, es amarga y no tiene una gran aceptación. Además, esta maduración del sabor se considera generalmente la consecuencia más importante de la guarda y acabado de una cerveza debido a la tendencia actual de producir cervezas más ligeras.
 - Eliminación de las materias en suspensión mediante decantación.
 - Saturación de la cerveza con dióxido de carbono (carbonatación).

En esta fase se suele añadir aditivos a la cerveza verde para normalizar sus características organolépticas, mejorar su capacidad espumante, estabilizarla y ajustar su amargor mediante la adición de concentrados isomerizados de lupulo.

- Filtración y clarificación.** El objetivo de la filtración es eliminar todos los microorganismos y partículas coloidales en suspensión presente en la cerveza al final del almacenamiento, asegurándose una claridad estable en el producto final. Esta operación debe realizarse a bajas temperaturas (si es posible a -1 grados centígrados), con una concentración de oxígeno disuelto inferior a 0.1 mg/l, y la cantidad del producto filtrado debe ser óptima en relación al sabor, espuma, color y ausencia de microorganismos.

- c) **Envasado y tratamiento higienizante.** La cerveza que va a envasarse debe ser transparente, esta fría (-1 o -2 grados centígrados) y presentar una correcta carbonatación, que se ha realizado mediante una fermentación secundaria y/o inyección de dióxido de carbono. Asimismo, en todo el proceso de envasado hay que minimizar al máximo el contacto con el oxígeno.

La pasteurización es el sistema más utilizado para conseguir la estabilización microbiológica de la cerveza. Su objetivo es reducir la posibilidad de que los microorganismos sobrevivan por encima de un nivel determinado, ya que la industria cervecera pretende que este sea lo más breve posible.

0.7. Área Mecatrónica

0.7.1. Implementación batería recargable

Es un sistema de recarga para una batería la cual se accionará cuando no se tenga energía eléctrica para la alimentación del sistema de enfriado del biorreactor y no afecte el proceso de fermentación.

0.7.2. Control y sensor de temperatura

Regulador de temperaturas tanto altas y bajas presente en varias fases del proceso de producción de la cerveza, para que varias etapas de la preparación donde tenga que ver la temperatura sean automáticas.

0.7.3. Agitador automático

Diseño y construcción de un agitador, tipo batidora para la revuelta de la malta y se tenga la agitación constante en el proceso de malteado.

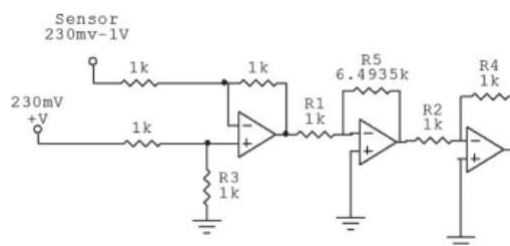
0.8. Desarrollo

0.8.1. Control de temperatura

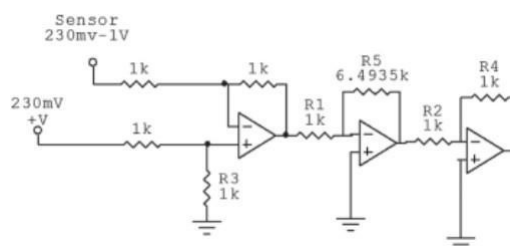
El control de temperatura se encargará de obtener las lecturas en un determinado tiempo previamente programado, que se reflejarán en la base de datos de acuerdo a esto, si la base de datos registra una lectura fuera de los parámetros se dará una alerta para activar y desactivar (encender y apagar) el refrigerador en el que se mete para controlar la temperatura en caso de ser elevada para el proceso que se lleva a cabo. El tipo de sensor que se utilizan son los LM35 de empaquetado TO-92, los cuales nos dan una tensión de salida lineal, directamente proporcional a la temperatura medida en grados centígrados. Estos dispositivos entregan 10 [mV] por grado centígrado. Tiene un intervalo de acción que va desde los -55°C hasta los 150°C. Los puntos por los que se seleccionó este dispositivo son su bajo precio, la lectura que nos ofrece, ya que es directamente proporcional a la temperatura a la que se desea medir, basta con polarizarla con una fuente sencilla para su funcionamiento. El sensor de temperatura

Ademas de que tambien se tendra el la fase de malteado y enfriamiento para el manejo de las temperaturas que se deben de manejar en cada una de las fases, utilizando el mismo funcionamiento pero en diferentes parametros y variables presentes.

Sistema de medicion El modelo didáctico de control cuenta con 2 sensores de temperatura, cada uno de ellos se usa para medir un punto específico, estos 2 puntos son: la temperatura externa y la temperatura interna. Para el rango de temperatura a trabajar se tiene una señal de voltaje que varía entre 230 [mV] y 1 [V], esta señal es necesario acondicionarla para obtener un rango de salida entre 0 y 5 V, el acondicionamiento de señal se muestra en la figura 1.



Sistema de potencia El elemento final de control trabaja con una alimentación de 120 [VAC] y una potencia de 100 [W]. Para el control de potencia se utilizará la activación del trigger de un triac. EL disparo del triac permite que pase corriente a la carga, este paso de corriente es controlado por fase como se muestra en la figura 2. El control del trigger se realiza por medio de un cambio en el voltaje de 0 a 5 [V], es decir, cuando se tiene 0 [V] el ángulo de disparo es de 0 y cuando se tiene 5[V] el 'Angulo de separo es de 180.



18

continuamente hasta que usuario detiene el modo de adquisición, al final se guarda todo en un archivo y se limpian todas las tareas y procesos abiertos en el sistema operativo.

A. Tecnica de identificacion La identificación de sistemas tiene por objeto obtener el modelo de un sistema dinámico a partir de datos experimentales, en los cuales se tienen en cuenta las variables de entrada, variables de salida y las posibles perturbaciones que afectan al sistema, para realizar una identificación es necesario realizar los siguientes pasos: Recolección de datos: Primero se define que variables se van a medir y cuáles van a ser las señales de entrada que afecten al sistema. Selección del modelo: Se realiza a partir de un grupo de modelos, se elige el más adecuado y representativo del sistema. Validación del modelo: La evaluación de la calidad del modelo se basa en determinar como se desempeña el modelo cuando se trata de reproducir con los datos obtenidos experimentalmente, según el comportamiento del sistema se acepta o se rechaza el modelo seleccionado para la identificación.

B. Metodo de minimos cuadrados Este metodo es la base de distintos metodos parametricos recursivos y no recursivos de identificación en el cual se trata de identificar los coeficientes δ del sistema de ecuaciones propuesto en el modelo, estas ecuaciones se representan como un sistema lineal.

$$y_1 = \theta_{11}x_1 + \theta_{12}x_2 + \dots + \theta_{1r}x_n \quad (1)$$

$$y_2 = \theta_{21}x_1 + \theta_{22}x_2 + \dots + \theta_{2r}x_n \quad (2)$$

.

.

.

$$y_r = \theta_{r1}x_1 + \theta_{r2}x_2 + \dots + \theta_{rn}x_n \quad (3)$$

donde r es el numero de salidas del sistema y n es el numero de entradas al sistema. La ecuacion se puede representar como:

$$y = X\theta \quad (4)$$

$$z = X\theta + v \quad (5)$$

Donde $z = [z_1, z_2, \dots, z_n]^T$ es el vector de salida estimada del sistema, $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]^T$ es el vector de parametros para estimar, $X = [\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n]^T$ es la matriz de estados de la cual depende la señal de salida $v = [v_1, v_2, \dots, v_n]^T$ es el vector de la medicion del error.

El objetivo de este método de identificación es minimizar la suma del error cuadrático cometido en K medidas, para ello se define el error como la diferencia entre el valor medido y el estimado, y se busca minimizar el índice de comportamiento J :

$$\frac{\delta J}{\delta \theta} = X^T z + X^T X \theta = 0 \quad (6)$$

$$X^t z = X^T X \theta = 0 \quad (7)$$

$$X^T(z - X\theta) = 0 \quad (8)$$

Al despejar θ se obtiene el valor estimado de θ :

$$\theta = (X^T X)^{-1} X^T z \quad (9)$$

Con

$$E(v) = oE(vv^T) = o^2 I \quad (10)$$

C. Metodología propuesta Para el desarrollo del modelo matemático aplicado al sistema de temperatura se siguieron los siguientes pasos: primero se modela el sistema partir de leyes físicas, una vez se tiene el modelo se determina los parámetros desconocidos y la dependencia de éstos con las variables del proceso; luego se toman los datos, para ello se debe garantizar la calibración de los instrumentos; una vez se toman los datos se realizan la identificación de los parámetros desconocidos por el método de mínimos cuadrados. Los datos que arroja el método de mínimos cuadrados deben ser validados, para ello se toman nuevamente datos con una señal de excitación diferente a los datos tomados anteriormente, se comparan estos datos con el modelo y se calcula el índice de desempeño, el cual dirá si el modelo es confiable o hay que volver a estimar los parámetros.

Modelo matematico del sistema En la table 1, se detalla las variables usada en el modelo matematico.

Variable	Definicion de las variables
H_e	Flujo de calor suministrado por el elemento de potencia.
H_s	Flujo de claor al interior del modulo de temperatura.
H_m	Flujo de calor en la paredes del modulo de temperatura.
Q	Velocidad del flujo de calor en el sistema a controlar.
R_{th}	Resistencia terminca del bombillo.
k_1	Conductividad terminca = $1/R_t$.
C	Capacidad calorifica.
M	Masa del cuerpo.
c	Calor especifico.
T_α	Temperatura en el exterior del sistema (Temperatura ambiente).
T_s	Temperatura al interior del modulo de temperatura.
T_h	Temperatura del elemento final de control (resistencia termica).

Para obtener el modelo se tiene la ecuacion de equilibrio terminico descrita:

$$H_e = H_s + H_m \quad (11)$$

Donde H_m es el flujo de calor en la pared del material del m'odulo de temperatura, el cual se da por convecci' on, esta ley afirma que si existe una diferencia de temperatura en el interior de un l'iquido o gas, es casi seguro se producir' a un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convecci' on. El calentamiento de un sistema cerrado mediante un elemento generador de calor no depende tanto de la radiaci' on como de las corrientes naturales de convecci' on, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire fr'io del resto del sistema se dirija hacia el elemento generador de calor. Donde H_s es el flujo de calor en el sistema al interior del m'odulo de temperatura, el cual se presenta por conducci' on, esta ley afirma que la velocidad de conducci' on de calor a trav'es de un cuerpo por unidad de secci' on trasnversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado). EL factor de proporcionalidad se denomina conductividad t'ermica del material. Los materiles como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades t'ermicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tiene conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes.

$$H_s = \frac{Q}{A} \quad (12)$$

$$Q = C \frac{d}{dt} T_s \quad (13)$$

La capacidad calorifica varia segun la sustancia, en el caso de estudio la sustancia objeto de analisis es aire seco, el cual es el que circula al interior del modulo de temperatura. Su relacion con el calor especifico es: $C|M\dot{c}$, donde la masa del cuerpo es una relaci' on entre el volumen y la densidad depende de la temperatura y de la presi' on.

El calor espec'ifico es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado, esta depende de la temperatura.

$$H_e = \frac{C}{A} \frac{d}{dt} + \frac{(T_e - T - s)}{R_t} \quad (14)$$

Donde R_t es un parametro que se encuentra por medio de identificaci' on de sistemas param'etrica por el metodo de minimos cuadrados. Para la aplicacion de la tecnica de identificaci' on se debe tomar datos del sistema, tanto de la temperatura del medio ambiente, en el elemento calefactor y en el sistema que se quiere modelar. Del modelo se determina las variables que afectan la resistencia termica T_s, T_α, H_e . Primero se define la matriz de estados.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & \frac{T_e(1) - T_s(1)}{H_e(1)} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \frac{T_e(n) - T_s(n)}{H_e(n)} \end{bmatrix}$$

Segundo se define el vector de parametros a estimar:

$$\theta = [R_t \text{ o } R_t(T_e - T_s)/H_e] \quad (15)$$

Tercero se define los vectores de las salidas estimadas, calculados a partir de los datos censados.

$$z_2 = [R_t(1), R_t(2), \dots, R_t(N)]^T \quad (16)$$

Por ultimo se calcula los parametros a estimar con las siguientes ecuaciones:

$$\theta_1 = (X^T X)^{-1} X^T z_1 \quad (17)$$

Implementacion del control de temperatura

En nuestra primera etapa donde se debe preparar el alimento para la bacteria se necesita una mezcla de malta con agua, de la cual se debe mantener a una temperatura de entre 68 a 70 grados centígrados con una constante agitación, teniendo en cuenta el uso de una parrilla se implementara el control de temperatura previamente configurado para que al momento de registrar una temperatura elevada a 70 grados, este apagara la parrilla y si registra una temperatura menos a 68 grados encenderá la parrilla, teniendo una agitación constante para la cual se optó por la utilización de un motor nema el cual está unido a una espátula para que mantenga la agitación constante en la mezcla y no hacer que la malta se concentre en el fondo del recipiente.

Para después pasar al estado de bullicion en el cual se mantendrá en una temperatura de 100 grados centígrados, en dado caso que la temperatura disminuya o incremente el control de encargara de regular (ya sea apagará o encender las parrilla) la temperatura, en este proceso al igual que el anterior se debe mantener con agitación constante esto ayuda a que la malta no quede en el fondo del recipiente.

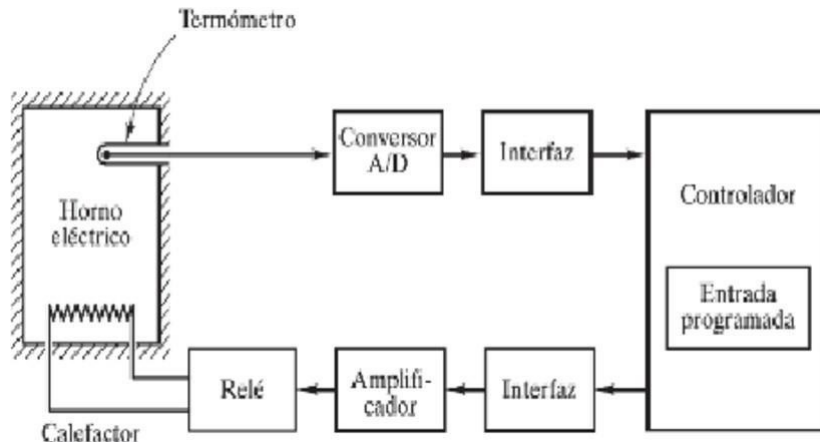
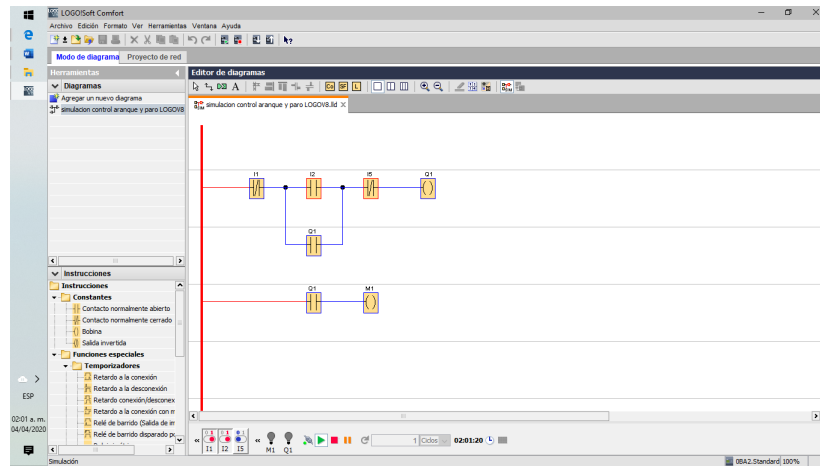
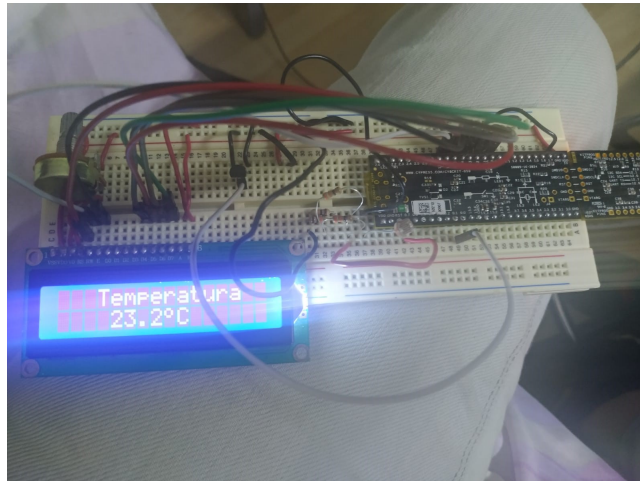


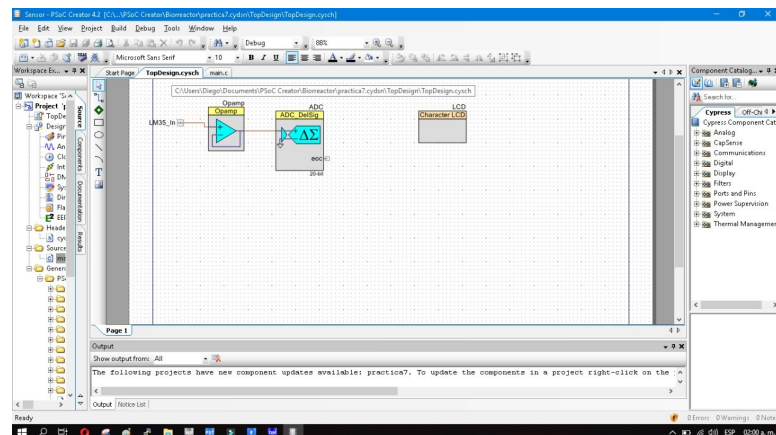
Diagrama de control electrico para arranque y paro del motor del agitador automatico



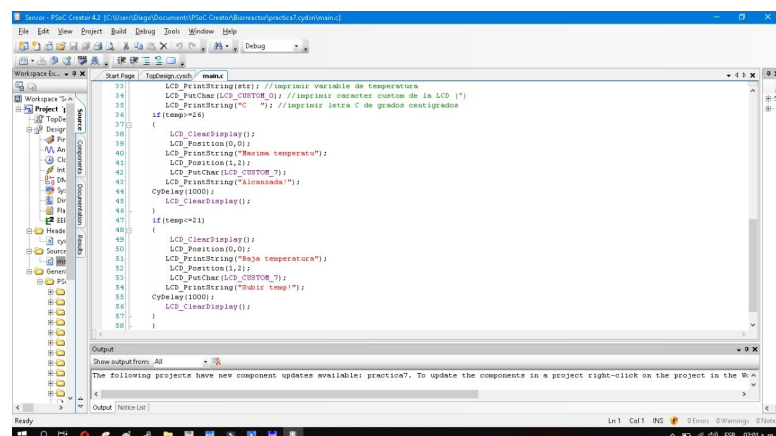
Sistema de temperatura



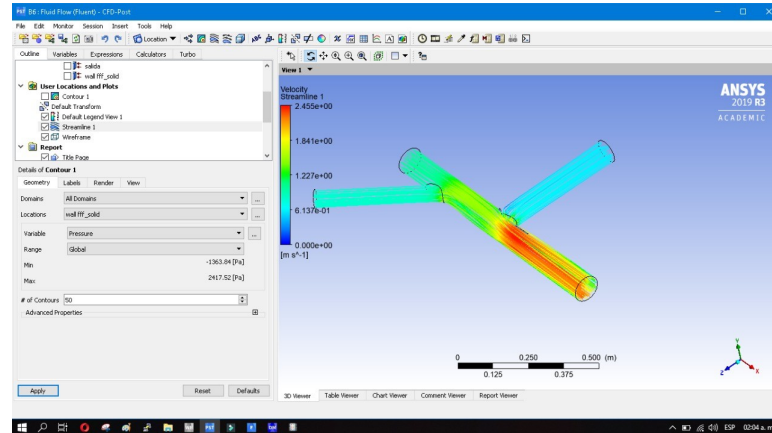
En la imagen a continuación mostramos como se creó el sistema de control con el LM35 utilizando un ADC ya que la señal que entra es analógica con un ADC delta sigma junto a un OPAMP con una configuración de seguidor para el acoplo de impedancias y de mantener el voltaje, teniendo en cuenta que 10mV equivale a un grado centígrado.



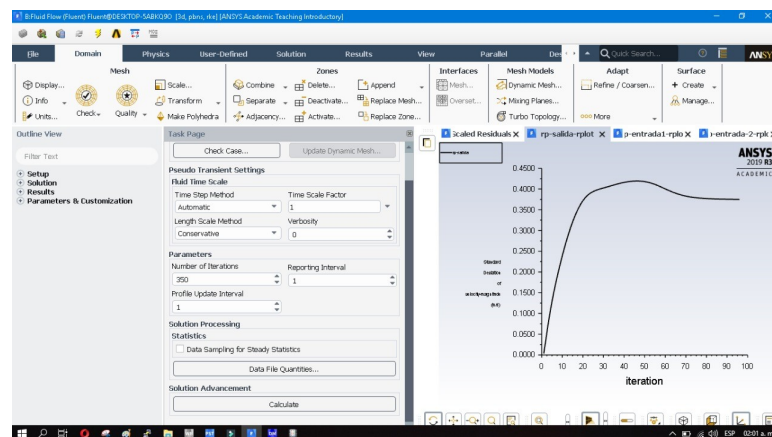
Aquí podemos observar la programación utilizada, sabiendo que por cada centígrado equivale a 10mV , solo dividimos el voltaje dado entre 10.



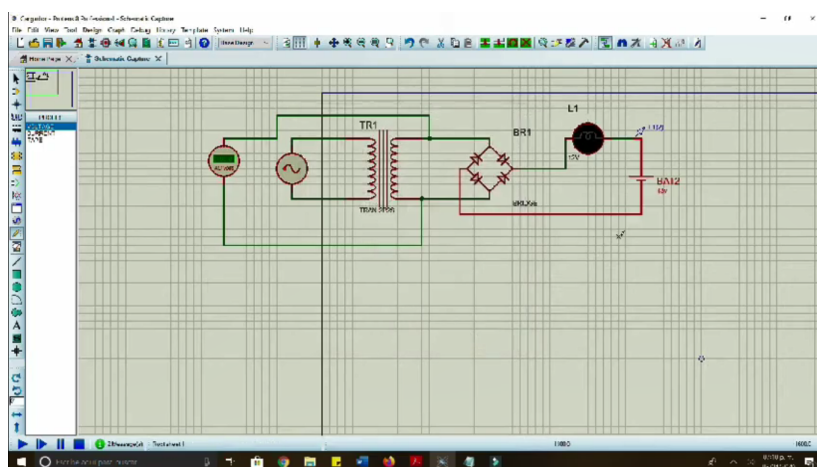
Se modela un sistema de tuberías de 3 entradas para el acondicionamiento de temperatura en el cual se analizo la presión ejercida en la tubería, la temperatura, y la velocidad.



La herramienta ANSYS es capaz de crear una gráfica con los parámetros anterior dicho como es la presión total del sistema



Cargador de baterías



0.8.2. Sistema de vision artificial (control de calidad)

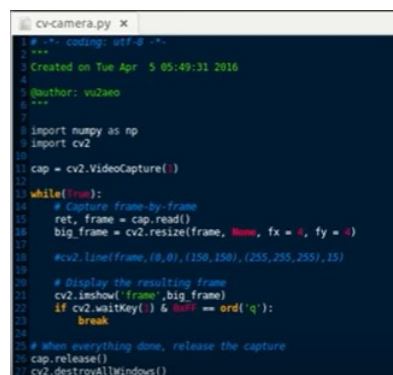
La gama de componentes desarrollados en visión artificial presentan una cada vez mayor sensibilidad. Sin embargo, para que proporcionen el rendimiento previsto, es necesario que, efectivamente, por las características (material, geometría, situación de la unidad de visión en el ciclo, entre otras) el proyecto sea viable. A tal fin, Infaimon diseña la arquitectura idónea.

Un sistema de visión artificial se compone principalmente de:

- Sistema óptico, de dos tipos: normal (Reflex) o telecéntrico (que suprime la distorsión. También se incluyen obturadores, anillos de extensión y filtros.
- Iluminación, en diversas categorías: color, monocromática o infrarroja (IR). En concreto, existen diferentes técnicas y elementos para iluminar el objeto y lograr las mejores condiciones de la imagen, así como conservar, de forma constante, la intensidad y dirección de la luz. Se pueden usar fuentes halógenas, fluorescentes, leds, láser o infrarrojos.
- Cámara a elegir según sus componentes: sensor (CCD, CMOS); formato de sensor (área, lineales, TDI); salida de datos (analógicas, LVDS, CameraLink, FireWire, USB2.0, GigE); resolución (VGA, SVGA, XGA, SXGA) y espectro (visible, UV, IR, térmico).
- Capturadora o ‘Smart Camera’: entre otras ventajas reúne la de funcionamiento autónomo con procesador integrado (programación remota).

Y finalmente, dos opciones de software: por un lado, entorno GUI (interfaces gráficas de usuario), de manejo sencillo ya que no precisa conocimientos de programación y cuenta con reducido tiempo de desarrollo. Por otro lado, librería de programación que sí requiere conocimientos avanzados de programación y tiempo de preparación elevado.

Para obtener un mejor procesamiento de las fases de producción del biorreactor realizaremos un terminal terminal con visión artificial por medio de python y opencv el cual nos mostrara las temperaturas de nuestros procesos, por medio del siguiente código.



```
cv-camera.py x
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Created on Tue Apr 5 05:49:31 2016
4
5 @author: vu2aao
6 """
7
8 import numpy as np
9 import cv2
10
11 cap = cv2.VideoCapture(0)
12
13 while(True):
14     # Capture frame-by-frame
15     ret, frame = cap.read()
16     big_frame = cv2.resize(frame, None, fx = 0, fy = 0)
17     cv2.line(frame,(0,0),(150,150),(255,255,255),15)
18
19     # Display the resulting frame
20     cv2.imshow('frame',big_frame)
21     if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
22         break
23
24 # When everything done, release the capture
25 cap.release()
26 cv2.destroyAllWindows()
```

Dando la siguiente captura. Donde puede observar en un espectro de colores infrarrojos y ultravioletas la temperatura del entorno.

