



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA ZMG

---

DivisiÓN ACADÉMICA DE  
MECATRÓNICA

BIORREACTOR

Proyecto

Que para obtener el título de:  
**Ingeniero en Mecatrónica**

PRESENTA:

**Alcalá Villagoméz Mario.**  
**Becerra Iñiguez Diego Armando.**  
**Martínez Velázquez Lisbeth.**  
**Murguía Chávez Nadia Sarahi.**  
**Ramos Chávez Brian Oswaldo.**

Directores:  
Ing. Moran Garabito Carlos  
Enrique Ing. Razo Cerda Rosa  
María

# **Biorreactor.**

Cinemática de Robots.  
Ingeniería en Mecatrónica 8A

20 de febrero de 2020

## **0.1. Problemática**

Un biorreactor es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor 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 medianas tales como son el pH, temperatura, presión e incluso la liberación de la presión.

### **0.1.1. Objetivo General**

Elaboración de un sistema semiautomatizado para la toma de pH, temperatura y presión de un biorreactor, así como la instalación de una válvula de liberación de presión controlada mediante estándares requeridos.

#### **Objetivos del proyecto**

- ❑ Modelado matemático 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 semiautomatizado dentro de un biorreactor es útil, 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 consultoría del estado del proceso.

### 0.1.3. Delimitación

Una de las limitaciones que se presentan es que los sensores tienen que ser esencialmente de grado alimenticio, puesto que tendrán contacto con productos que se darán a consumo.

Además de que el biorreactor a donde 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

<b>Materiales</b>	<b>costo</b>
Sensor de temperatura	300
Sensor de pH	820
Arduino	400
Sensor de presión	800
Electro válvula	250
Sensor de flujo de agua	300
Microcontrolador	500
Total	3,370

### 0.2.2. Matriz de roles

<b>Signo</b>	<b>Leyenda</b>
P	Responsabilidad
C	Colabora
I	Suministra información a los demás
MN	Mario Alcalá Villagómez y Nadia Sarahi Murguía Cház
DB	Diego Armando Becerra Iñiguez y Brayan Oswaldo Ramos Cház
LN	Lisbeth Martínez Velázquez y Nadia Sarahi Murguía Cház

### 0.2.3. Diagrama Gantt

Actividades	MN	DB	LN	Fecha
Título 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
Desarrollarlo 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
<b>Inglés VII</b>	Comprensión y Traducción de artículos, libros y manuales consultados.
<b>Termodinámica</b>	Análisis de temperatura para el manejo de sensores y el sensor de temperatura
<b>Modelado de sistemas</b>	Modelado matemático para el análisis para el uso de los sensores y sus respuestas
<b>Administración y de proyectos</b>	Gestión y organización, planeaciones y control de recursos económicos, materiales y humanos.
<b>Cinemática de robots</b>	Cálculo y especificaciones matemáticas para la correcta estructuración del biorreactor
<b>Diseño y selección de materiales</b>	Diseño y simulación de la estructura del biorreactor

<b>Materias de 8vo</b>	<b>Detalles de la Aportación al proyecto</b>
<b>Ingles VIII</b>	Comprensión y Traducción de artículos, libros y manuales consultados.
<b>Diseño de sistemas mecatrónicos</b>	Empleación de planeaciones, organización y estructuración de proyectos.
<b>Ing. Asistida por computadora</b>	Simulación del diseño y funcionamiento del biorreactor, tomando en cuenta el comportamiento de sus elementos.
<b>Ingeniería de control</b>	Instalación de un sistema de control para los sensores de temperatura, pH, presión.
<b>Dinámica de robots</b>	
<b>Pro. sistemas embebidos</b>	Utilización y programación de microcontroladores para el accionamiento de sensores
<b>Sistemas de visión artificial</b>	Instalación de un sistema de visión artificial para la inspección de calidad del producto
<b>Adquisición y procesamiento de señales</b>	Visualización y obtención de señales analógicas, convertidas en digitales para su visualización dentro de un entorno digital

## **0.4. Introducción**

Este proyecto nace de la necesidad de diseñar un sistema de monitoreo de variables (pH, temperatura, presión, liberación de presión) y una lectura digital usando un almacenamiento mediante el uso de base de datos visualizados desde una PC con una interfaz gráfica para un biorreactor, dado que por un lado se podría contaminar el contenido del proceso dentro de la cámara del biorreactor, los sensores empleados en el interior de la cámara del biorreactor tienen que ser de grado alimenticio.

## **0.5. Desarrollo**

### **0.5.1. Descripción del control de temperatura**

Dentro de las etapas de procesos del Biorreactor se tiene la parte de par

### **0.5.2. Control de temperatura.**

El sistema de control propuesto puede ser utilizado para el control de temperatura de biorreactores que puede ser utilizados en el área de desarrollo, así como en el área de investigación en donde es necesario realizar el cultivo de microorganismos o el crecimiento de células o tejidos en condiciones controladas y en presencia de aire.

### **0.5.3. Sensor 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 utilizaron 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 deseada y basta con polarizarla con una fuente sencilla para su funcionamiento.

El sensor de temperatura principal se encuentra en el tanque, este monitorea la temperatura de la temperatura en el exterior del biorreactor, si la temperatura no es la óptima, la PC activa y desactiva la refrigeración para retirar o proporcionar el calor necesario al interior del biorreactor.

En el interior del biorreactor se encuentra otro sensor de temperatura como con- trol para monitorear que la temperatura de la mezcla en estudio sea la adecuada, también es necesario agitar esta mezcla para tener una lectura de temperatura con- recta.

#### 0.5.4. Determinación de los modelos matemáticos.

##### Sistema de medición

El modelo didático 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

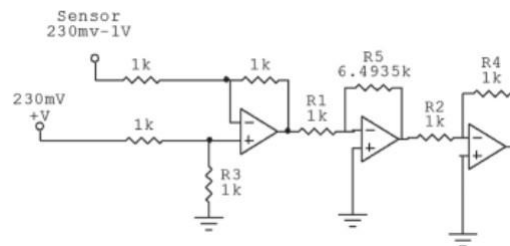


Figura 1: Circuito

##### 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.



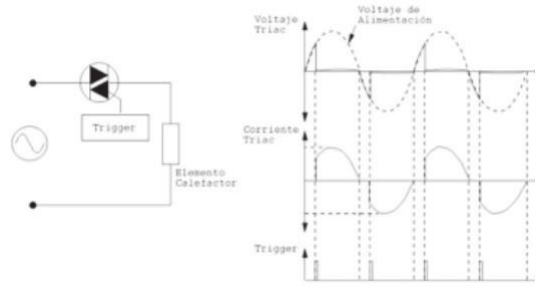


Figura 2: Circuito de potencia

## Sistema de adquisición de datos

Una vez acondicionados los 2 sensores se procede a desarrollar un método para adquirir los datos el cual es implementado en LabVIEW. El método de adquisición se muestra en la figura 3 realizado por medio de la tarjeta Raspberry Pi. El método de adquisición se utiliza la configuración de un canal como entrada analógica, se define el reloj para el muestreo, se muestrea continuamente hasta que el 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. Técnica de identificación

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 definen qué variables se van a medir y cuáles van a ser las señales de entrada que afectan 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 cómo se desempeña el modelo cuando se trata de reproducir con él los datos obtenidos experimentalmente, según el comportamiento del sistema se acepta o se rechaza el modelo seleccionado para la identificación.

### B. Método de mínimos cuadrados

Este método es la base de distintos métodos paramétricos recursivos y no recursivos de identificación en el cual se trata de identificar los coeficientes  $\theta_{ij}$  del sistema de ecuaciones propuesto en el modelo, estas ecuaciones se representan como un sistema lineal.

$$\hat{y}_1 = \hat{\theta}_{11}x_1 + \hat{\theta}_{12}x_2 + \dots + \hat{\theta}_{1r}x_n \quad (1)$$

$$\hat{y}_2 = \hat{\theta}_{21}x_1 + \hat{\theta}_{22}x_2 + \dots + \hat{\theta}_{2r}x_n \quad (2)$$

•  
•  
•

$$\hat{y}_r = \hat{\theta}_{r1}x_1 + \hat{\theta}_{r2} + \dots + \hat{\theta}_{rn}x_n \quad (3)$$

Donde  $r$  es le número de salidas del sistema y  $n$  es el número de entradas al sistema.  
La ecuación se puede representar como:

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

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

Donde  $z = [z(1)z(2)...z(n)]^T$  es el vector de salida estimada del sistema,  $\theta = [\theta_0\theta_2...\theta_n]^T$  es el vector de parámetros para estimar,  $X = [1\xi_1...\xi_n]$  es la matriz de estados de la cual depende la señal de salida  $v = [v(1)v(2)...v(n)]^T$  es el vector de la medición 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  $J$ :

$$J = \frac{1}{2}(z - x\theta)^T(z - x\theta) \quad (6)$$

El valor de  $\theta$  que minimiza a  $J(\theta)$  debe satisfacer que  $\frac{\partial J}{\partial \theta} = 0$ . Al derivar se tiene:

$$\frac{\partial J}{\partial \theta} = -X^T z + X^T X \hat{\theta} = 0 \quad (7)$$

$$X^T z = X^T X \hat{\theta} \quad (8)$$

$$X^T(z - X\hat{\theta}) = 0 \quad (9)$$

Al despejar  $\hat{\theta}$  se obtiene el valor estimado  $\hat{\theta}$ :

$$\hat{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T z \quad (10)$$

Con

$$E(v) = 0, E(vv^T) = \sigma^2 I \quad (11)$$

### 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 matemático del sistema

En la tabla 1 se detallan las variables usadas en el modelo matemático.

Variable	Definición de las variables
$H_e$	Flujo de calor suministrado por el elemento de potencia
$H_s$	Flujo de calor al interior del módulo de temperatura
$H_m$	Flujo de calor en las paredes del módulo de temperatura
$Q$	Velocidad del flujo de calor en el sistema a controlar
$R_{th}$	Resistencia térmica del bombillo
$k_1$	Conductividad térmica = $1/R_t$
$C$	Capacidad calorífica
$M$	Masa del cuerpo
$c$	Calor específico
$T_a$	Temperatura en el exterior del sistema (Temperatura ambiente)
$T_s$	Temperatura al interior del módulo de temperatura
$T_h$	Temperatura del elemento final de control (resistencia térmica)

Para obtener el modelo se tiene la ecuación de equilibrio térmico descrita.

$$H_e = H_s + H_m \quad (12)$$

Donde  $H_m$  es el flujo de calor en la pared del material del módulo de temperatura, el cual se da por convección, esta ley afirma que si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o gas, es casi seguro se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El calentamiento de un sistema cerrado mediante un elemento generador de calor no depende tanto de la radiación como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío 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 módulo de temperatura, el cual se presenta por conducción, esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado). El factor de proporcionalidad se denomina conductividad térmica del material. Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tienen conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes.

$$H_s = \frac{Q}{A} \quad (13)$$

$$Q = C \frac{d}{dt} T_s \quad (14)$$

La capacidad calorífica varía según la sustancia, en el caso de estudio la sustancia objeto de análisis es aire seco, el cual es el que circula al interior del módulo de temperatura. SU relación con el calor específico es:  $C = M * c$ , donde la masa del cuerpo es una relación entre el volumen y la densidad depende de la temperatura y de la presión.

El calor específico 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.

$$H_e = \frac{C}{A} \frac{dT}{dt} + \frac{(T_e - T_s)}{R_t} \quad (15)$$

Donde  $R_t$  es un parámetro que se encuentra por medio de identificación de sistemas paramétrica por el método de mínimos cuadrados.

Para la aplicación de la técnica de identificación 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 térmica  $T_s$ ,  $T_a$ ,  $H_e$ . Primero se define la matriz de estados.

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

Figura 3:

Segundo se define el vector de parámetros a estimar:

$$\theta_1 = [R_t \text{ o } R_t(T_e - T_s)/(H_e)] \quad (16)$$

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

$$z_2 = [R_t(1) R_t(2) \dots R_t(N)]^T \quad (17)$$

Por último se calcula los parámetros a estimar con las siguientes ecuaciones:

$$\hat{\theta}_1 = (X^T X)^{-1} X^T z_1 \quad (18)$$

### 0.5.5. Implementación del control de temperatura

En nuestra primera etapa donde se debe preparar el alimento para la bacteria se necesita una mezcla de manta 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 bullición 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.

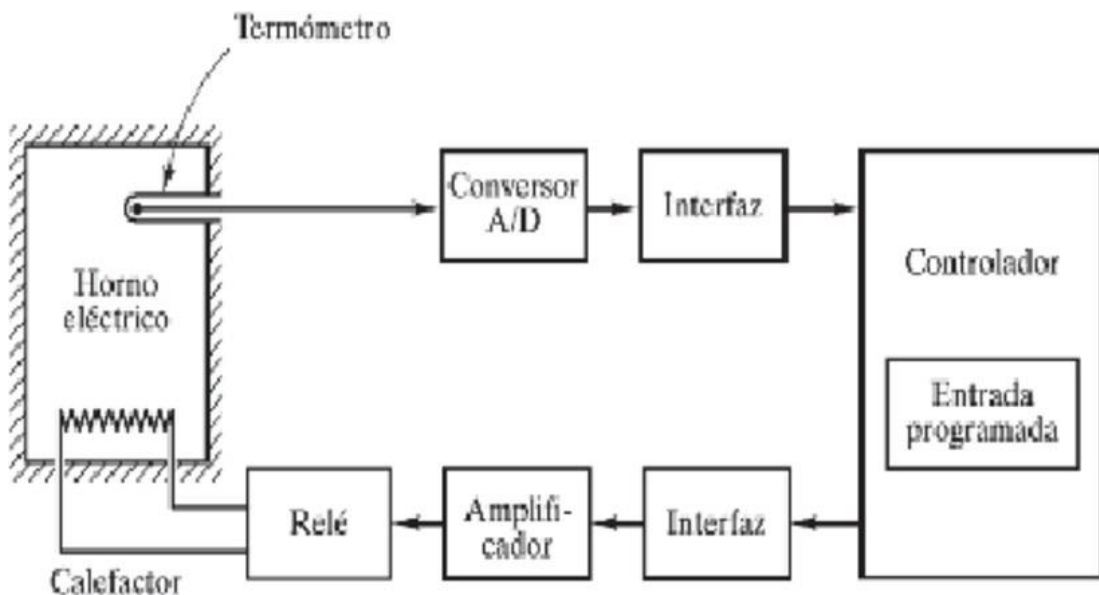


Figura 4: Diagrama de bloques