

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIORREACTOR MICROBIANO EN EL
TECNOPARQUE “LA GRANJA”

SARA LUCIA OSORIO HERRERA
FABIAN RICARDO ROMERO MARTÍNEZ

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR “ITFIP”
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROINDUSTRIALES
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPINAL-TOLIMA
2015

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BIORREACTOR MICROBIANO EN EL
TECNOPARQUE “LA GRANJA”

SARA LUCIA OSORIO HERRERA
FABIAN RICARDO ROMERO MARTÍNEZ

Trabajo de grado para optar título Ingeniero Electrónico

DIRECTOR
MSC EN CONTROL ING ELECTRÓNICO. OSCAR BERNATE.

INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR “ITFIP”
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROINDUSTRIALES
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPINAL-TOLIMA
2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

El Espinal, Diciembre 21 de 2015



Red Tecnoparque Colombia

ACTA DE CIERRE O SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE
ASESORÍA EN LA RED TECNOPARQUE

Fecha: Agosto de 2012

Versión: 05

Pág. 1 de 2

Fecha:	Centro: Agropecuario La Granja	Nodo: La Granja
Nombre del Proyecto:	Diseño e implementación de un sistema de control remoto de variables ambientales para la incubación de microorganismos.	

Talento Líder	Gestor Asesor
Nombre: Fabian Ricardo Romero Martinez c.c. 1.105.682.582	Nombre: Pablo Vega Vásquez C.C 80851933
Firma:	Firma:

CIERRE	SUSPENSIÓN
Satisfecho <input checked="" type="checkbox"/>	Incumplimiento reiterado de citas por parte del Talento <input type="checkbox"/>
Insatisfecho <input type="checkbox"/>	
Observaciones sobre el cierre: <p>El proyecto culminó satisfactoriamente. El objetivo general planteado para el proyecto se cumplió a cabalidad. En cuanto a los objetivos específicos se refiere, se cumplieron los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none">• Adquirir, procesar y visualizar variables ambientales como lo son Nivel de oxígeno, Nivel de Ph, y Temperatura.• Controlar las señales de referencia de Temperatura y velocidad del agitador. <p>Sin embargo, no se logró cumplir el objetivo específico relacionado con sistema scada que permita visualizar y controlar las variables de interés de manera local o remota, por razones relacionadas con la disponibilidad de uso de recursos del SENA y permisos para</p>	Deserción de Talento <input type="checkbox"/> Solicitud expresa y voluntaria del Talento <input type="checkbox"/> Cambio de <input type="checkbox"/> Incumplir (Otra, Cual <input type="checkbox"/>



ACTA DE CIERRE O SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE
ASESORÍA EN LA RED TECNOPARQUE

Fecha: Agosto de 2013

Versión: 05

Pág. 1 de 3

proceder a realizar el sistema de
operación y monitoreo de forma remota.

LOGROS ALCANZADOS

Uno de los objetivos específicos del proyecto consistía en diseñar un sistema scada que permitiera visualizar y controlar las variables de interés de manera local o remota. Sin embargo, a pesar de haber logrado diseñar e implementar un sistema de agitación y temperatura controlado, adaptado a un reactor de laboratorio, no fue posible operar el sistema de forma remota. Esto debido a que se requiere una dirección IP fija disponible en el lugar donde se encuentra el equipo (biorreactor), exclusivamente destinada a este fin. En el laboratorio de Nanotecnología del Tecnoparque del centro agropecuario "LA Granja", donde se encuentra ubicado el biorreactor, no cuenta con una dirección IP disponible para esto.

Por otra parte, fue posible monitorear los niveles de pH y nivel de oxígeno presente en el biorreactor, controlar las variables de agitación y temperatura al interior del recipiente. Además, se logró diseñar y ensamblar un sistema de calentamiento que permite la distribución uniforme de la temperatura en el líquido (medio de cultivo o mezcla) al interior del recipiente.

DETALLES DEL INCUMPLIMIENTO O SUSPENSIÓN

TALENTOS PARTICIPANTES

NOMBRE	IDENTIFICACION	FIRMA
Fabian Ricardo Romero Martínez	C.C 1.105.682.582	<i>Fabian Romero</i>
Sara Lucia Osorio Herrera	C.C. 1.105.684.726	<i>[Firma]</i>



ACTA DE CIERRE O SUSPENSIÓN DEL SERVICIO DE
ASESORÍA EN LA RED TECNOPARQUE

Fecha: Agosto de 2012

Versión: 05

Pág. 1 de 3

1. NOTIFICACIÓN POR SUSPENSIÓN DEL PROYECTO:

Nombre de quien notifica la suspensión del proyecto: Talento: Gestor _____

Fecha Notificación:

2. NOTIFICACIÓN POR CIERRE DEL PROYECTO:

Fecha Cierre del Proyecto: Diciembre 17 de 2015

Dinamizador

Gestor Asesor del Proyecto

Gestor Líder de la Línea

A mi papa por enseñarme a como alcanzar la felicidad, que los pequeños detalles son los más importante y que el dinero no lo es todo, porque donde la familia está unida y con Dios en su corazón, no faltara nada, fuiste eres y serás el mejor padre del mundo; estoy orgullosa de ser como soy y eso te le debo a ti, siempre serás mi héroe

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarnos en este caminar permitiéndonos alcanzar los objetivos y metas propuestas al inicio de esta etapa, por darnos salud, perseverancia y amor para con nuestra carrera.

A nuestra familia por apoyarnos en nuestra vida, por ser entes motivadores para culminar con nuestra formación profesional, por los valores inculcados y por habernos dado la oportunidad de tener una buena educación, para así ser ciudadanos íntegros.

A nuestro director de tesis Msc en control ing electrónico. Oscar Bernate por su apoyo y orientación incondicional brindada, además por habernos tenido toda la paciencia de este mundo en el desarrollo del proyecto.

A nuestra institución ITFIP por brindarnos las herramientas necesarias para enriquecer nuestro conocimiento, incentivando a la búsqueda de mejorar las condiciones tecnológicas de nuestro entorno, como principal objetivo las empresas de nuestra región.

Al Sena Tecnoparque nodo “La Granja” por brindarnos la confianza y herramientas tecnológicas para el desarrollo de la tesis.

A nuestro Gestor Pablo Vega por por brindarnos el conocimiento acerca del desarrollo eficiente de los microorganismos, y exponer su punto de vista acerca de los resultados esperados del biorreactor.

A nuestros compañeros de lucha por enriquecer nuestros conocimientos con sus experiencias en el campo laboral, por su apoyo moral para superar los momentos

difíciles que se presentaron en el trayecto de nuestra formación profesional prevaleciendo su amistad incondicional.

RESUMEN

Es posible adaptar y automatizar un biorreactor de laboratorio en vidrio, mediante la implementación de sistemas electromecánicos (servo-motor y chaqueta de calentamiento por conducción). Para esto, es necesario tomar las medidas de las dimensiones del recipiente para luego diseñar las piezas nuevas a ser ensambladas. Igualmente es necesario diseñar la interfaz de comunicación entre sensores, actuadores y computador.

El sistema SCADA es una herramienta tecnológica que permite controlar de forma remota los procesos automatizados. En este caso, el objetivo es controlar de forma remota a través de computador la velocidad de agitación y la temperatura de agitación, teniendo en cuenta que estos son dos de los parámetros de mayor importancia en los procesos que se llevan a cabo en fermentadores a escala de laboratorio e industrial.

Para poder controlar de forma remota los actuadores que regulan las condiciones de los procesos, es necesario conectar el sistema a través de internet, así permitiendo el flujo de datos desde el computador programado para operar el sistema, hasta otra terminal externa capaz de acceder a la programación mediante un software de programación, en este caso particular, labview.

Palabras claves: Control, monitoreo, Scada, fermentador.

ABSTRACT

You can be adapted and automated bioreactor laboratory glass, by implementing electromechanical systems (servo motor and conductive heating jacket). For this it is necessary to take measures on the dimensions of the container and then design new parts to be assembled. It is also necessary to design the communication interface between sensors, actuators and computer.

The SCADA system is a technological tool that allows remotely controlling automated processes. In this case, the objective is to remotely control the computer through the stirring speed and the stirring temperature, considering that these are two of the most important parameters in the process carried out in scale fermentors laboratory and industrial.

To control remotely actuators which regulate the conditions of the process, the system must be connected via the Internet, allowing the flow of data from the computer programmed to operate the system until an external terminal capable of accessing Programming by software programming, in this particular case, Labview.

Keywords: Control, monitoring, SCADA, fermenter.

CONTENIDO

pág.

1. INTRODUCCIÓN.....	111
2. PROBLEMA.....	¡Error! Marcador no definido. 3
2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	133
3. JUSTIFICACIÓN.....	155
4. LINEA DE INVESTIGACION.....	166
5. OBJETIVOS.....	177
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	177
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
6. MARCOS DE REFERENCIA.....	18
6.1 MARCO TEORICO.....	¡Error! Marcador no definido. 8
8. METODOLOGÍA.....	43
9. RESULTADOS.....	54
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	5656

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tolerancias PT100.....	¡Error! Marcador no definido. 9
Tabla 2. Tipos de termopar.....	30

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema Scada en Labview para laboratorio de control.....	19
Figura 2 Reactor tipo Batch.....	20
Figura 3. Ecuación balance de masa.....	20
Figura 4. Reactor de flujo de mezcla perfecta.....	¡Error! Marcador no definido. 21
Figura 5. Ecuación balance de masa.....	¡Error! Marcador no definido. 2
Figura 6 Biorreactor BIOSTAT® A plus.....	23
Figura 7. Sistema de incubación con calefacción resistencia de banda.....	25
Figura 8. Abrazadera de calefacción	25
Figura 9 Control de temperatura reactor microbiano por fluido térmico.....	26
Figura 10 Control de temperatura fluido térmico (solar).....	27
Figura 11. Control temperatura F12-ED.....	27
Figura 12. Termopar tipo J.....	¡Error! Marcador no definido. 30
Figura 13. Sensor LM35	¡Error! Marcador no definido. 1
Figura 14. AGITADOR MAGNÉTICO RT BÁSICO MARCA THERMO SCIENTIFI	¡Error! Marcador no definido. 33
Figura 15. Agitador orbital SHKA2506.....	34
Figura 16. Agitador flujo radial	3¡Error! Marcador no definido.
Figura 17. Agitador flujo Axial	¡Error! Marcador no definido. 35

Figura 18. Agitador mecánico de varilla AX686/2	¡Error! Marcador no definido.	36
Figura 19. Sensor de oxígeno disuelto Do1200		38
Figura 20. Sensor de oxígeno disuelto vernier	¡Error! Marcador no definido.	39
Figura 21. Sensor pH	¡Error! Marcador no definido.	40
Figura 22. Sensor pH s651cd		41
Figura 23. Sensor pH S662CD	¡Error! Marcador no definido.	42
Figura 24. Diagrama de bloques del sistema	¡Error! Marcador no definido.	44
Figura 25. Tarjeta adquisición de datos DAQ 6009		45
Figura 26. Programa caracterización sensor	¡Error! Marcador no definido.	
Figura 27. Diagrama bloques identificación sistema modelo caja negra		49

1. INTRODUCCIÓN

La biotecnología se deriva de la unión de dos palabras como son biología que es la ciencia que estudia los seres vivos con el fin de conocer la estructura y la dinámica funcional de los mismos, con el objetivo de establecer los principios explicativos de la vida orgánica [1], y la tecnología que envuelve un conjunto de instrumentos, métodos y técnicas que se encargan de dar solución a una problemática presente en la sociedad [2], la biotecnología busca utilizar el comportamiento biológico de otros seres vivos para brindar soluciones para el ser humano, ya que debido a estos estudios científicos permite brindar avances en la medicina, producción de alimentos, agricultura, industria y conservación del medio ambiente [3].

Para el desarrollo eficiente de la biotecnología es común escuchar que en sus elementos de laboratorio están presentes los biorreactores o fermentadores, los cuales son las herramientas tecnológicas que según su nivel de automatización permite conocer de manera exacta el comportamiento de los microorganismos estudiados en el equipo.

Con el transcurrir de los años se diseñaron diferentes tipos de biorreactores según la reacción química a estudiar, en estos es primordial tener en cuenta la agitación, temperatura, pH y oxígeno disuelto en el cultivo líquido, para así conocer las características físico-químicas de cada microbio.

En el presente trabajo se diseñó e implemento un sistema de control automático de las variables que intervienen directamente en el desarrollo eficiente de los productos como los son temperatura y agitación, además se monitoreo los valores del Ph y concentración de oxígeno. Este sistema cuenta con un parámetro

innovador ya que permite la monitorización y control de las variables de manera local y remota así aumentando la eficiencia del sistema ya que no es necesario verificar de manera presencial el adecuado funcionamiento del biorreactor.

2. PROBLEMA

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los procesos de incubación de microorganismos que se realizan actualmente en laboratorios de ensayo y error en la región, son realizados mediante incubadoras que brindan los factores ambientales necesarios para el desarrollo de los microbios, pero estos sistemas requieren la supervisión constante del proceso, debido a que se debe verificar el adecuado funcionamiento del reactor para tomar las acciones correctivas ante cualquier anomalía que pueda afectar la supervivencia de los mismos o alterar los resultados del procedimiento, lo cual afecta negativamente el desarrollo de investigaciones en el campo agropecuario de la región, tratamiento de aguas residuales, seguridad alimentaria, entre otros.

En el Tecnoparque del centro agropecuario “LA GRANJA” ubicado en el Espinal-Tolima cuentan con un recipiente destinado para la incubación de microorganismos para un cultivo líquido, el cual no se ha podido poner en marcha por falta del diseño e implementación del control de variables como temperatura y agitación, adicional a esto es necesario conocer los valores de nivel de oxígeno presente en el reactor y pH.

En la mayoría de incubadoras de microorganismos en la región se realiza el proceso de incubación en condiciones de temperatura que presentan un alto margen de error con respecto al punto de consigna requerido; el oxígeno y pH son realizados de manera manual, para el desarrollo de esta técnica es inevitable la presencia del operario en el laboratorio debido a que es necesario que el vigile las condiciones ambientales presentes en el reactor y tome las acciones correctivas cuando se presente alguna anomalía en el proceso, es por esto que

es de gran ayuda para el usuario poder tener acceso remoto a la incubadora para así monitorear y controlar el sistema.

3. JUSTIFICACIÓN

La incorporación de herramientas tecnológicas en la incubación de microorganismos permite el control automático de variables que afectan el sistema incorporando instrumentos de medición industriales para así tomar la lectura del valor actual de las variables que afectan el método de incubación generando exactitud en la temperatura, nivel de oxígeno y porcentaje de pH presentes, adicional a esto el avance de las comunicaciones se ve la necesidad de diseñar una interfaz gráfica que permita la adquisición, control y monitoreo del funcionamiento real del sistema de manera local y a distancia, aumentando la eficiencia debido a que permite realizar un mejor seguimiento del procedimiento sin importar la presencia del operario en el laboratorio.

Con el desarrollo del proyecto ya mencionado se corrobora las destrezas y habilidades en las dos líneas de investigación de la institución como lo es comunicaciones y automatización y se pone en práctica los conocimientos adquiridos en el proceso de formación.

4. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación a la cual se inscribe la presente propuesta es:

Desarrollo de las Ingenierías en lo referente a la Electrónica Industrial.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un biorreactor microbiano que se pueda monitorear de manera local y/o remota en el Tecnoparque “LA GRANJA“

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adquirir y procesar variables ambientales como lo son Nivel de oxígeno, Nivel de pH, y Temperatura.
- Controlar las señales de referencia de Temperatura y velocidad del agitador.
- Diseñar sistema SCADA para acceso local y/o remoto el cual permite al usuario la visualización de las variables, genere señales de alarma y almacene información histórica

6. MARCOS DE REFERENCIA

6.1 MARCO TEÓRICO

6.1.1 Antecedentes

El avance de los biorreactores surge tras la necesidad de brindar avances en la guerra, medicina, ingeniería de alimentos, agricultura, entre otras; a continuación se presenta los diferentes desarrollos tecnológicos que ha permitido el uso de estos dispositivos, durante la primera guerra mundial en busca del perfeccionamiento de explosivos, Chaim Weizmann, desarrollo la investigación en la producción de acetona, butanol y etanol por fermentación llevada a cabo por la bacteria *Clostridium acetobutylicum*. Conocida posteriormente como fermentación ABE, en los años 30's se utilizaron para la producción a gran escala de levadura comprimida, luego se vio el avance en la producción de antibióticos como la penicilina, en los años siguientes se realizaron investigación en el cultivo de células animales, producción de aminoácidos, vitaminas y tratamientos de aguas residuales (Chisti, 1989; Smith, 1996).

En los procesos industriales se evidencia el continuo avance tecnológico buscando aumentar la eficiencia de los procesos con ello reduciendo los errores ocasionados por los operarios de las plantas, tras la busca de la consecución de este objetivo se han diseñado diferentes dispositivos electrónicos de hardware y software que permiten la monitorización y control, de los mismos a través de un sistema SCADA que integra todos los componentes de campo con los de control del proceso.

En la actualidad los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) se han convertido en una herramienta indispensable para el desarrollo eficiente de un producto ya que además de facilitar la parte operativa de la

industria facilita el tratamiento de la información para los gerentes ya que permite realizar estudios estadísticos acerca del proceso así facilitando la toma de decisiones.



Figura 1. Sistema Scada en Labview para laboratorio de control.

Fuente: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4679ba5996c22.pdf>

6.1.2 Biorreactores estado líquido

Los reactores microbianos tienen gran acogida en el ámbito industrial debido a la producción de metabolitos, debido a esto se realizan innumerables investigaciones que buscan diseñar biorreactores que puedan ser aplicados en ambientes industriales, para ellos es fundamental estudiar la velocidad de una reacción química entre los catalizadores y reactivos debido a que esto aumenta el grado de complejidad porque es posible encontrar patrones cinéticos y de flujos muy complejos a esto se le añade las transferencias de masa y de calor necesarios.

Los biorreactores microbianos son utilizados por empresas que se encargan de realizar tratamiento de aguas residuales, fabricar farmacéuticos, etanol, metanol, fermentación láctica, biotecnología, etc.

Existen 3 modos de operación de un biorreactor [4]

6.1.2.1 Discontinuo o batch:



Figura 2. Reactor tipo Batch

Fuente: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion/2-1-reactor-tipo-batch>

En este modo de operación el crecimiento de los microorganismos son cultivados en un recipiente con una concentración inicial, en este no existe flujo de entrada ni salida por lo tanto el volumen permanece constante y solo son controladas las condiciones ambientales en el medio (PH, temperatura, velocidad de agitación, oxígeno disuelto en el medio, entre otras). Una vez que se ha terminado el proceso se vacía la sustancia y se inicia un nuevo lote [4,5].

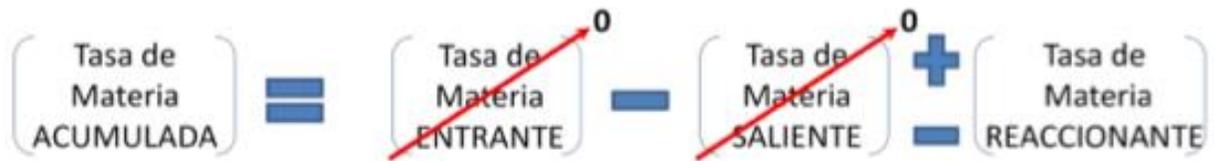


Figura 3. Ecuación balance de masa

Fuente: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion/2-2-reactor-de-flujo-de-mezcla-completa-rfmc>

6.1.2.2 Semicontinuo o fed-batch

En este modo de operación los nutrientes son proporcionados de manera intermitente mejorando la productividad de la fermentación manteniendo baja la concentración del substrato. En este tipo de reactores se puede tener un buen control de la temperatura, la concentración de uno de los reactantes se puede mantener baja, se utiliza para reacciones exotérmicas, producción de levaduras de pan y antibióticos; su producción es pequeña y tiene un alto costo de operación [4,6].

6.1.2.3 Continuo:

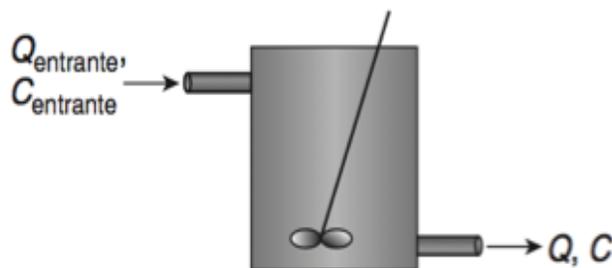


Figura 4. Reactor de flujo de mezcla perfecta

Fuente: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion/2-2-reactor-de-flujo-de-mezcla-completa-rfmc>

Este modo de reactor consiste en agregar nutrientes y retirar productos de manera permanente. Operan de manera estable (no hay variación con respecto al tiempo), debido a esto la acumulación en el reactor puede ser cero [4,7].



Figura 5. Ecuación de balance de masa

Fuente: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion/2-2-reactor-de-flujo-de-mezcla-completa-rfmc>

El diseño del biorreactor debe asegurar homogeneidad entre los componentes del sistema y las condiciones óptimas para el crecimiento de los microorganismos ya que estas influyen directamente en la eficiencia del ciclo de incubación, las condiciones ambientales con mayor importancia en el proceso son la temperatura, PH y concentración de oxígeno disuelto.

6.1.3 Estado del arte construcción de biorreactores

En el mercado es posible encontrar fermentadores como los que se mencionan a continuación:

6.1.3.1 BIOSTAT® A plus

Este biorreactor tiene un precio de \$11.000 US y posee las siguientes características [5]:

- Incluido PC Portátil para la operación
- Control de la temperatura, pH, DO, velocidad de agitación, la mezcla de gas, espuma | Nivel y el sustrato.

- Configurable 2 etapas DO controlado a través de la velocidad de agitación, la mezcla de gas o sustrato
- Calibración de pH en línea
- Pantalla de tendencia
- Sistema de mezcla de 4 gases con el camino de flujo de gas individual para paquetes de cultivo celular
- Capacidad de enriquecimiento de oxígeno para paquetes microbianos.
- Recipientes de cultivo intercambiables con 1 L, 2 L o 5 volumen de trabajo de Litros.
- Industria demostrado hardware
- El software operativo del PC de gran alcance - capaz de manejar hasta cuatro unidades
- MFCS / DA de almacenamiento de datos y el trazado paquete de software
- Fácil de seguir pasó a paso la instalación y guía del usuario.



Figura 6 Biorreactor BIostat® A plus

Fuente: <http://www.bostonlabco.com/biostat-a-plus.html>

6.1.3 Variables de control

La caracterización matemática de los biorreactores es de difícil consecución ya que dependen de numerosas condiciones ambientales como temperatura, pH, y la concentración de oxígeno disuelto, a continuación se da a conocer los efectos de las variables ya mencionadas en el proceso.

6.1.3.1 Temperatura:

Para el desarrollo de los cultivos de microorganismos es esencial mantener la temperatura óptima de crecimiento de estos para así obtener mejores resultados, su importancia se debe a que cada microorganismo tiene una temperatura máxima donde por encima de esta le es imposible vivir y la temperatura mínima en la cual no pueden crecer aunque generalmente no mueren [4].

Es común encontrar sistemas de control de temperatura que utilizan las siguientes técnicas:

6.1.3.1.1 Actuador

6.1.3.1.1.1 Resistencia de banda

Es utilizada en sistemas donde los microorganismos son sensibles al calor debido a que distribuye el calor sobre un área grande por lo que la calefacción es uniforme y se eliminan los puntos calientes [9].

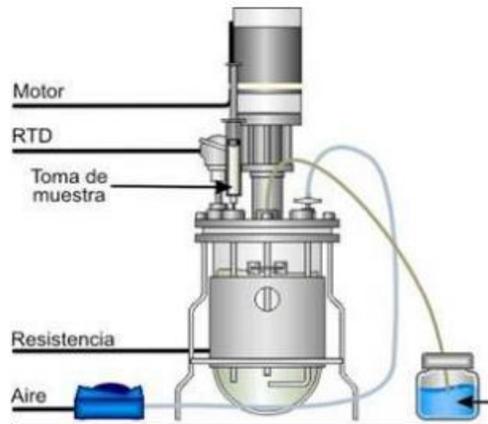


Figura 7 Sistema de incubación con calefacción resistencia de banda.

Fuente: http://www.myinstrumentostecnicos.com/wenv/file_data.php?id=397

La banda calefactora de la figura 8 es autoadhesiva para diversas aplicaciones como nacederas, calefactoras para pollitos, incubadoras, entre otras. Consiste de un cable de silicona pegado a una lámina extra espesa de aluminio para así producir un calor uniforme por toda la superficie. Los extremos de los cables de silicona (10 cm) están hechos de un material que resiste al calor. [10]

El precio de este actuador es de 23.95 Euros



Figura 8 Abrazadera de calefacción

Fuente: <http://www.incubadorasynacedoras.com/tienda/repuestos-para-incubadoras/resistencias/moqueta-calefactora-25w-TIN060010005.html>

6.1.3.1.1.2. Calefacción con fluido térmico

Los reactores tienen un recipiente interno que contiene las muestras que requieren control de temperatura. El recipiente interno está rodeado por una camisa que contiene fluido térmico, esta sustancia es inyectada continuamente a la camisa del reactor. El líquido es calentado o enfriado dentro del sistema de control de temperatura [11].

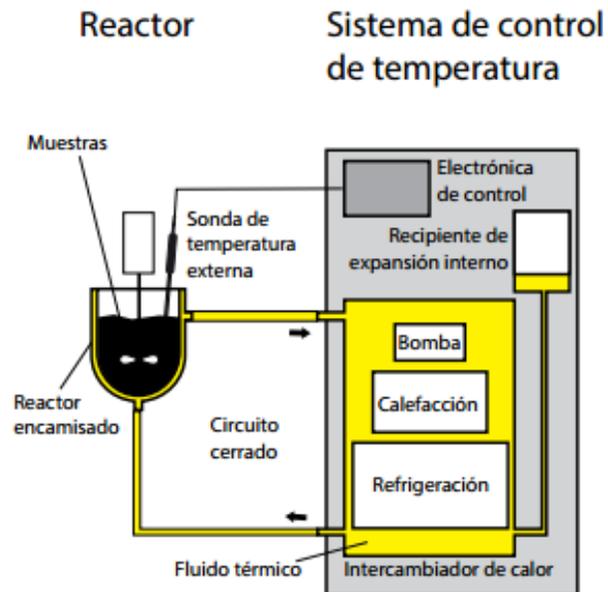


Figura 9 Control de temperatura reactor microbiano por fluido térmico.

Fuente: <http://www.julabo.com/sites/default/files/downloads/whitepapers/Libro-Blanco-Optimo-control-de-temperatura-de-reactores.pdf>

En la figura 10 El diseño de la incubadora de cultivos microbianos está conformado por un sistema de colectores solares como recurso de calefacción, un almacén térmico que regula la temperatura del interior de la incubadora y aporta el

calor en los períodos en los que el sistema de colectores no opera, este sistema es un modelo experimental [12].

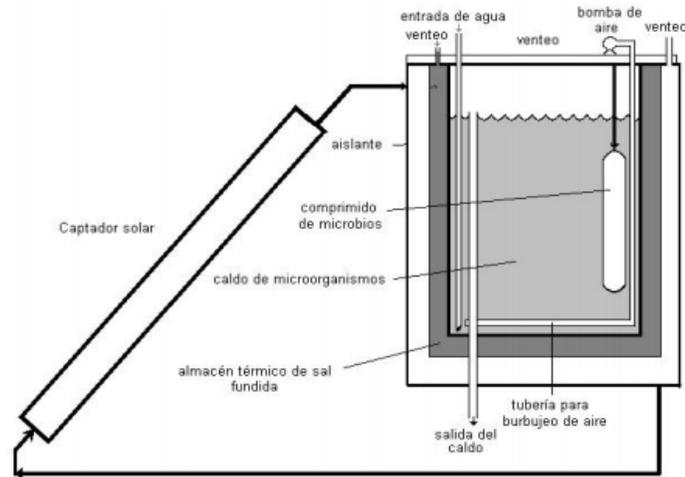


Figura 10 Control de temperatura fluido térmico (solar)

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicon/R-0011.pdf>



Figura 11 Control temperatura F12-ED

Fuente: www.julabo.com/es/productos/criotermostatos/criotermostatos-de-circulacion/f12-ed-criotermostato-de-circulacion

En la figura 11 se muestra el control de temperatura presto F12-ED marca JULABO tiene un costo de \$ 2943,14 Euros tiene el principio de funcionamiento de la figura 5, posee las siguientes características [13]:

Rango temperatura: -20 a 100 °C

Display Type: LED

Requerimientos eléctricos: 230V, 50Hz, 11A

Certificaciones: Clasificación I (NFL) según DIN 12876-1

6.1.3.1.2 Elementos de medida

6.1.3.1.2.1 (a) PT100

Las Pt100 son un tipo específico de sensor R.T.D. (detector de temperatura por resistencia). La característica más importante de los elementos Pt100 es que están fabricados con platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0 °C y es con diferencia el tipo más común de sensor RTD. Los elementos Pt100 están montados normalmente en algún tipo de vaina o funda protectora para formar una sonda, y éstos se conocen comúnmente como sonda Pt100 (sondas de resistencia de platino). [11]

La norma internacional IEC 751 especifica las tolerancias de los sensores RTD industriales. Hay dos tolerancias principales definidas para sondas Pt100: clase A, con una tolerancia de $\pm 0,15$ ° C a 0 ° C y clase B, con una tolerancia de $\pm 0,3$ ° C a 0 ° C. Hay 2 clases de precisión adicionales para el trabajo de precisión y estos se conocen comúnmente como "1/10 DIN" y "1/3 DIN"; esto significa una tolerancia de 1/10 o 1/3 de la especificación de clase B a 0 ° C respectivamente. La lista completa de las tolerancias de clase A, B, 1/10 y 1/3 se enumera en la siguiente tabla [14]:

Tabla 1. Tolerancias PT100

Elemento de intercambiabilidad Pt100 en ° C				
Temp °C	Clase B	Clase A	1/3 DIN	1/10 DIN
-200	1,30			
-100	0,80			
-50	0,55	0,25	0,18	
0	0,30	0,15	0,10	0,03
100	0,80	0,35	0,27	0,08
200	1,30	0,55	0,43	
250	1,55	0,65	0,52	
300	1,80	0,75		
350	2,05	0,85		
400	2,30	0,95		
450	2,55	1,05		
500	2,80			
600	3,30			

6.1.3.1.2.2 Termopares

Un termopar es un sensor de temperatura que consiste en dos conductores metálicos diferentes, unidos en un extremo, denominado junta caliente suministrando una señal de tensión eléctrica que depende directamente de la temperatura; este sensor puede ser conectado a un instrumento de medición de Fem (fuerza electro motriz) o sea un milivoltímetro o potenciómetro.[16]

Un termopar no mide temperaturas absolutas, sino la diferencia de temperatura entre el extremo caliente y el extremo frío. Este efecto termoeléctrico hace posible la medición de temperatura mediante un termopar. [16]

En la tabla 2 se da a conocer los termopares más comunes.

Tabla 2 Tipos de termopar

Termopar	Rango
"J" <u>Hierro-Constantan</u>	-0 - 760 °C.
"K" <u>Cromel-Alumel</u>	-200 + 1370 °C.
"T" <u>Cobre-Constantan</u>	-200 + 350 °C.
"E" <u>Cromel-Constantan</u>	-200 + 1250 °C.
"R" <u>Platino-Platino-Rhodio 13%</u>	0 + 1450 °C.
"S" <u>Platino-Platino-Rhodio 10%</u>	0 -1450 °C.
"B" <u>Platino Rhodio 30% -Platino Rhodio 6%</u>	0 -1700 °C.

Generalmente los termopares se fabrican con tubos protectores, esto es con el fin de proteger los alambres del termopar contra las atmósferas corrosivas y las altas presiones [16]



Figura 12 Termopar tipo J.

Fuente:<http://www.moragas.com.mx/catalogo/producto.php?nombre=TERMOPAR%20TIPO%20J&marca=10&material=7>

6.1.3.1.2.3 LM35

La serie LM35 son dispositivos de temperatura de precisión-circuito integrado con una tensión de salida linealmente proporcional a la temperatura centígrada. El dispositivo LM35 tiene una ventaja sobre los sensores de temperatura lineal calibrada en grados Kelvin, ya que no se requiere el usuario para restar un voltaje constante grande de la salida para obtener conveniente escalado centígrados. El

- No linealidad Sólo $\pm \frac{1}{4}^{\circ} \text{C}$ Típico
- Salida de baja impedancia, $0,1 \Omega$ por 1-mA Carga

6.1.3.2 Agitador:

Para el desarrollo eficiente del cultivo de microorganismos es de vital importancia garantizar la homogenización de los nutrientes en el reactor y la temperatura en todo el caldo, además es necesario dispersar las sustancias con poca miscibilidad, suspender los nutrientes sólidos y dispersar el aire en la solución de nutrientes, para esto es indispensable incorporar al proceso el sistema de agitación [4].

Existen diferentes tipos de agitadores entre ellos:

6.1.3.2.1 Agitador magnético:

Es un dispositivo electrónico que controla el movimiento giratorio de una bala magnética, por lo general es utilizado un motor que está provisto de unos campos magnéticos adicionales los cuales tienen la función de controlar la barra magnética que se sumerge en el líquido a agitar, la barra magnética está recubierta por un material inerte (teflón) para que esta no altere las propiedades de la solución, existen agitadores magnéticos que no cuentan con motor y para remplazar dicho elemento se aprovisiona unas bobinas que al ser activadas producen un campo magnético el cual permite el movimiento de la bala magnética, la capacidad de agitación está en el orden de los litros de agua ya que para sustancias muy viscosas no funciona de la manera correcta. [20]



Figura 14 AGITADOR MAGNÉTICO RT BÁSICO MARCA THERMO SCIENTIFIC

Fuente: http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/productos_mo.php?it=11954

En la figura 7 se muestra el agitador magnético modelo de la marca THERMO SCIENTIFIC tiene un costo de \$ 265.00 US y posee las siguientes características:

[21]

- Velocidad: 150 a 2500rpm
- Capacidad: 5L
- Voltaje: 100 a 240
- Potencia: 6 W
- Hertz: 50/60Hz

6.1.3.2.2 Agitador orbital o de bandeja:

Los agitadores orbitales tienen una plataforma la cual genera movimientos orbitales excéntricos, balanceo o vibratorio; encima de esta se ubican los recipientes con el líquido que debe ser agitado [22].



Figura 15 Agitador orbital SHKA2506

Fuente: <http://www.equinelabsac.com/content/agitador-de-vaiv%C3%A9n-orbital-de-doble-acci%C3%B3n-maxq>

En la figura 8 se muestra un agitador orbital Thermo Scientific MaxQ SHKA2506, tiene un costo de \$4,500.00 US y posee las siguientes características: [22]

- Intervalo de velocidad 40 a 400 rpm
- Tensión 120 V
- Intervalo de temperatura 4 ° a 40 ° C
- Temporizador 1 a 60 min
- Capacidad portante 6,8 kg

6.1.3.2.2 Agitadores mecánicos o de turbina:

Son utilizados en la industria para la preparación de reactivos en el tratamiento de aguas, en la industria química, petroquímica, alimenticia y farmacéutica; los agitadores de hélice se dividen en dos clases, los de flujo axial (generan corrientes paralelas al eje del impulsor) y los de flujo radial (generan corrientes radial tangencial) [23].

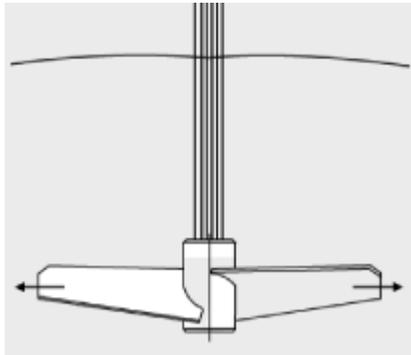


Figura 16 Agitador flujo radial

Fuente: agitacion.opt-ing.com/recursos-catalogos-blog/mundo-agitacion/tipos-agitadores

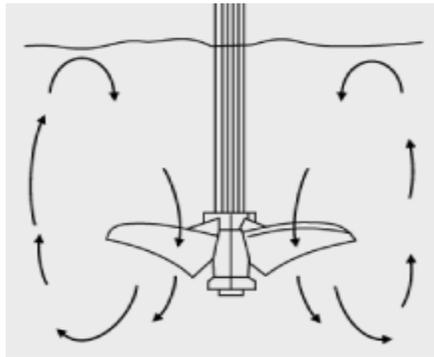


Figura 17 Agitador flujo axial

Fuente: agitacion.opt-ing.com/recursos-catalogos-blog/mundo-agitacion/tipos-agitadores

6.1.3.2.2.1 Agitador mecánico de varilla AX686/2:

- Volumen agitable máximo: 10 L en agua.
- Rango de velocidad de agitación entre 200-2000 r.p.m.
- Potencia de su motor es de 29 W.

Estos mezcladores o agitadores mecánicos con varilla facilitan soluciones eficaces y económicas de agitado de sólidos en suspensión y mezclado de líquidos de baja

y media viscosidad. El motor potente y dinámico permite un confiable funcionamiento de forma continua y silenciosa durante más de 8 horas.

El arranque progresivo evita el desbordamiento del líquido del recipiente y la velocidad puede ser controlada de manera precisa y sensible mediante dos mandos de fácil manejo, equipados con dos varillas de agitación tipo paleta de distinto tamaño (grande y pequeña) para permitir la utilización de distintos recipientes y líquidos. [24]

Tiene un costo de 437,89 Euros. [21]



Figura 18 Agitador mecánico de varilla AX686/2

Fuente:http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=3023&_agitadores__agitador__agitador_mecanico__mezclador__agitador_de_varilla__agitador_de_laboratorio__stirrer__mechanical_rod_stirrers__mezclador_de_varilla__mezclador_digital__agitador_digital__placa_agitadora__auxilab__agitadores_686_varillas_para_agitar_tienda_on_line.

6.1.3.3 Oxígeno Disuelto:

El oxígeno disuelto es un sustrato de vital importancia en los cultivos de microorganismos aerobios y es un componente limitante debido a que es un gas

soluble en el agua. En alta concentración celular la tasa de consumo de oxígeno puede exceder la tasa de crecimiento. [4] El usuario debe visualizar el nivel de oxígeno disuelto presente en el biorreactor.

Para realizar la medición del oxígeno disuelto en el mercado encontramos los siguientes instrumentos de medida:

6.1.3.3.1 DO1200

El DO1200 y DO1200TC cuentan con la tecnología galvánica confiable. No se requiere ningún período de calentamiento. Los sensores se suministran con que respondieron rápida tapas de membrana HDPE para uso portátil o en el laboratorio. Tapas de membrana PTFE opcionales están disponibles para en línea o aplicaciones de exposición UV pesados. Rellene solución es reemplazar cuando sea necesario [25].

El DO1200 se suministra sin compensación interna de temperatura. El DO1200TC puede suministrarse con una variedad de elementos definidos por el usuario ATC. Longitud de cable estándar es de 2.5 pies con una terminación de plomo estañado. Longitudes y conectores de cable más largos están disponibles por un cargo adicional. Este sensor tiene un precio de 791120 pesos colombianos [25]

Especificaciones

- Rango: 0-20 mg / L
- Material del cuerpo: Epoxi y Noryl
- Temperatura máxima: 50 grados C
- Saturación de salida: HDPE = 47mV +/- 9mV, PTFE = 33mV +/- 9mV
- Presión: 0 a 100 psig (7,5 bar)
- Calibración: Un único punto en el aire
- Tiempo de Respuesta: Después de equilibrio, HDPE 1 minuto para que 2mV, PTFE 2 minutos para 2mV

- Tiene un precio de 791000 pesos colombianos. [26]



Figura 19 Sensor de oxígeno disuelto Do1200

Fuente: <http://www.sensorex.com/docs/SpecsDO1200.pdf>

6.1.3.3.2 Sonda Oxígeno disuelto Vernier.

Con este sensor podemos tomar medidas de la cantidad de oxígeno disuelto en muestras de agua. Tiene un rango de medida de 0 a 14 mg/l de oxígeno disuelto. Dispone de compensación de temperatura, lo que significa que podemos calibrar en el laboratorio y después hacer medidas en el exterior y su tiempo de respuesta es del 95 % de la lectura en 30 segundos. [27]

Fácil de calibrar, simplemente sumergiendo el sensor en una solución de cero oxígeno disuelto, que se incluye con el sensor, para tomar a partir de ahí el cero del sensor. Puede calibrarse en mg/l o en ppm.

La sonda de oxígeno disuelto se usa para medir la concentración de oxígeno disuelto en el agua, fuera de aula o en el laboratorio. Puede usar este sensor para realizar una gran variedad de pruebas o experimentos para determinar cambios en los niveles de oxígeno disueltos, uno de los indicadores primarios de la calidad de un entorno acuático.



Figura 20. Sensor de oxígeno disuelto vernier.

Fuente: <http://www.vernier-iberica.com/do.html>

6.1.3.4 pH:

En el crecimiento de microbios conocer el pH presente en la solución es importante debido a que según la medida de acidez o alcalinidad de la mezcla se puede controlar la tasa de crecimiento de los microorganismos debido a que cada uno tiene un nivel de pH óptimo. [4]

Para realizar la medición del pH del caldo en el mercado se puede utilizar las siguientes sondas:

6.1.3.4.1 Vernier pH

Utilice el sensor de pH tal como lo haría un medidor de pH tradicional con las ventajas adicionales de recogida automatizada de datos, gráficos, datos y análisis. [29]

Especificaciones

- Tipo: Sellada, cuerpo epóxido relleno de gel, Ag / AgCl
- Diámetro del eje: 12 mm OD
- Tiempo de respuesta: 90% de la lectura final en 1 segundo
- Rango de temperatura: 5 a 80 ° C
- Rango: pH 0-14
- Precisión: +/- 0,2 unidades de pH

- PH Isopotencial: pH 7 (punto en el que la temperatura no tiene efecto)



Figura 21 Sensor pH

Fuente: <http://www.vernier.com/products/sensors/ph-sensors/ph-bta/>

6.1.3.4.2 S651CD

Los inmersión de pH y ORP electrodos de Sensorex están diseñados para mediciones en tanques, canales y líneas de alcantarillado. Diseños sumersión también son muy adecuadas para altas aplicaciones de sólidos suspendidos, operaciones de floculación que requieren velocidades bajas, o en tanques con alta agitación.

Donde las velocidades bajas están presentes y recubrimiento es un problema, el electrodo se puede montar en un ángulo de 45 grados desemboca en el flujo a fin de obtener el aumento de la acción de lavado a través de la superficie de medición.

El diseño de desconexión rápida cartucho hace que el cambio de electrodos en un instante y minimiza el tiempo de inactividad debido al electrodo de mantenimiento. Ofrece una función de protección de vidrio de pH y la capacidad de gel de referencia acrilamida. [30]

Especificaciones:

- Rango: 0 – 14 pH
- Tiempo de Respuesta: 95% en 5 segundos

- Material del Cuerpo: CPVC
- Conector: BNC
- Temperatura Mínima: 10°C
- Temperatura y Presión: 75°C a 100 Psi
- Máximas: 80°C a 85 Psi
- Características: Bulbo Plano, Juntion Doble

Esta sonda tiene un precio de 1154720 pesos colombianos. [26]



Figura 22 Sensor pH s651cd

Fuente:<https://mail.google.com/mail/u/0/#search/oxigeno+disuelto/14faf107dfeac763?projector=1>

6.1.3.4.3 S662CD

Este electrodo es utilizado en procedimientos donde sea necesario monitorear el pH en línea (tubería de entada o salida de flujo).

El cuerpo del electrodo es CPVC lo que le da mayor resistencia química, se caracteriza por su alta resistencia a la corrosión, y a los ataques químicos debido a soluciones salinas, ácidos, bases fuertes, alcoholes, entre otros. Este electrodo está diseñado para soportar presiones altas por períodos largos, además posee una excelente resistencia mecánica, resistencia a la tracción y al impacto. El cuerpo de este electrodo también está disponible en PVDF, este material es especial para líquidos agresivos o concentrados. [31]

Especificaciones:

- Rango: 0 – 14 pH
- Tiempo de Respuesta: 95% en 5 segundos
- Material del cuerpo: CPVC
- Conector: BNC
- Temperatura Mínima: 10°C
- Temperatura y Presión 75°C a 100 Psi
- Máxima: 80°C a 85 Psi
- Características: Bulbo Plano
- Junction Doble
- Mediciones de pH en línea



Figura 23 Sensor pH S662CD

Fuente:<http://hawkins-assoc.com/wp-content/uploads/2015/05/SpecsS600Inline.pdf>

7. METODOLOGÍA

La realización de este proyecto está dispuesta en secuencias, por ende la consecución de las actividades definidas para el alcance de cada objetivo dará como resultado el inicio de la siguiente etapa del proyecto, así permitiendo corregir los errores que se presenten durante la ejecución de la investigación.

7.1 Participantes

Este proyecto cuenta con el apoyo de Pablo Vega Vásquez Gestor senior Bio y nanotecnología del Tecnoparque nodo la “granja”, como orientador en el desarrollo de los procesos de incubación y los parámetros que debe garantizar el sistema a los microorganismos a cultivar.

7.2 Solución propuesta

7.2.1 Especificaciones generales

Con el fin de diseñar e implementar un biorreactor de laboratorio que se pueda controlar de manera local y remota, el software seleccionado para realizar la interfaz gráfica y los lazos de control del sistema es Labview 2011 de National Instruments, el cual permite realizar tareas como:

- Monitorización en tiempo real de las variables del proceso.
- Visualización de alarmas.
- Controladores de agitación y temperatura.
- Adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos.
- Reporte histórico.

7.2.2 Solución propuesta

El biorreactor está compuesto por 1 controlador de temperatura, velocidad de agitación. Adicionalmente cuenta con sensor de oxígeno disuelto y pH estos están incluidos en la interfaz gráfica que permite la monitorización del sistema.

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó el siguiente diagrama de bloques de la solución del problema:

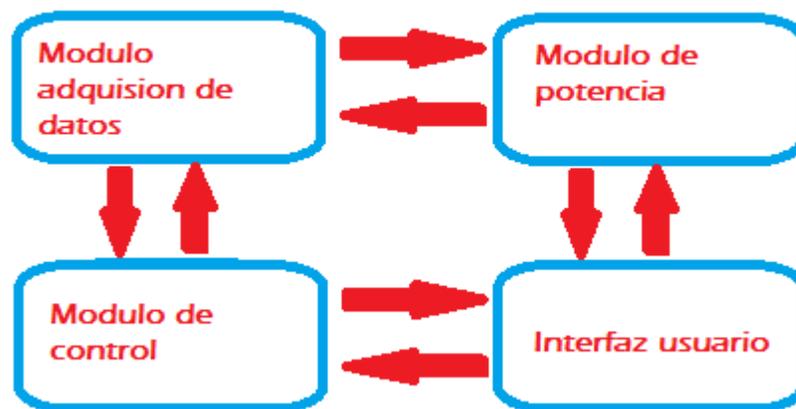


Figura 24 Diagrama de bloques del sistema

Fuente: Autores

7.2.2.1 Módulo adquisición de datos

Un sistema de adquisición de datos es el proceso donde se mide un fenómeno eléctrico o físico, en esta se permite la adquisición de las variables de entrada y salida del sistema, las señales adquiridas de este módulo son análogas y se utilizó la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments DAQ 6009 que tiene en su hoja de especificaciones las siguientes características: [32]

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s)

- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s),
- 12 E/S digitales; contador de 32 bits
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada La versión OEM está disponible Compatible con LabVIEW, LabWindows/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET
- El software de NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos.

En la figura 26 se muestra la tarjeta de adquisición utilizada en el proyecto.



Figura 25 Tarjeta adquisición de datos DAQ 6009

Fuente: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-218>

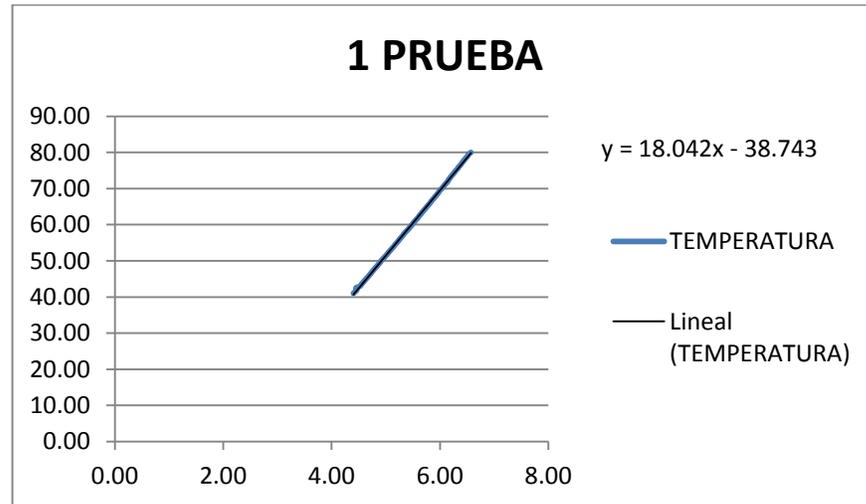
7.2.2.1.2 Escalizacion y acondicionamiento de señales

Lectura del sensor: para determinar la linealidad del sensor se optó por comparar la lectura de la variable con un elemento patrón de la familia Vernier, a continuación se describe las pruebas realizadas para obtener dicho objetivo.

Para la linealización de la temperatura se realizaron las pruebas de laboratorio con la sonda de temperatura sólida y robusta fabricada por la empresa vernier, se tomaron datos cada 0,5 °C desde 20 hasta 70° C, en la gráfica 26 se da a conocer los funciones lineales de cada prueba. (Esta prueba se realizó en 3 ocasiones para reducir los posibles errores tomados en la captura de los valores). Una vez

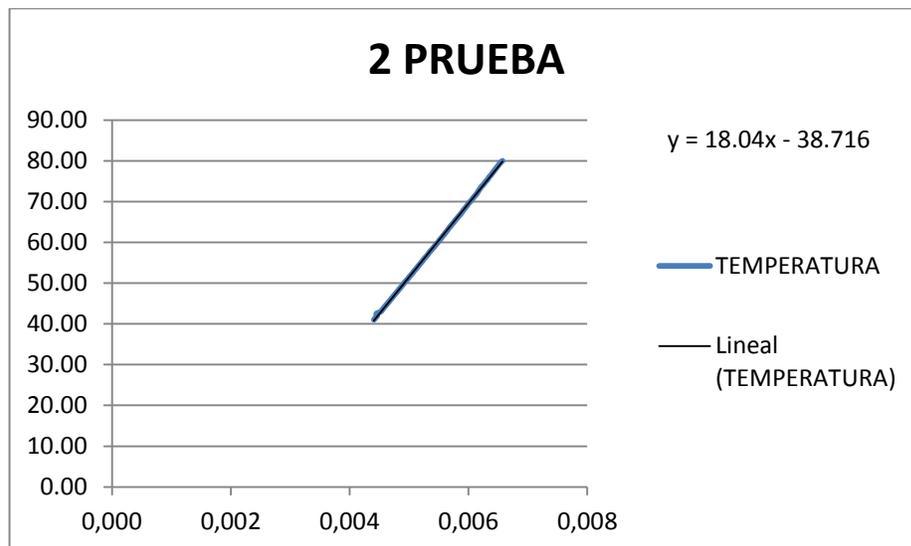
obtenido los datos se procedió a graficar los valores para así hallar la ecuación característica de la temperatura.

Grafica 1 Representación grafica de los datos y la respectiva ecuación 1 prueba



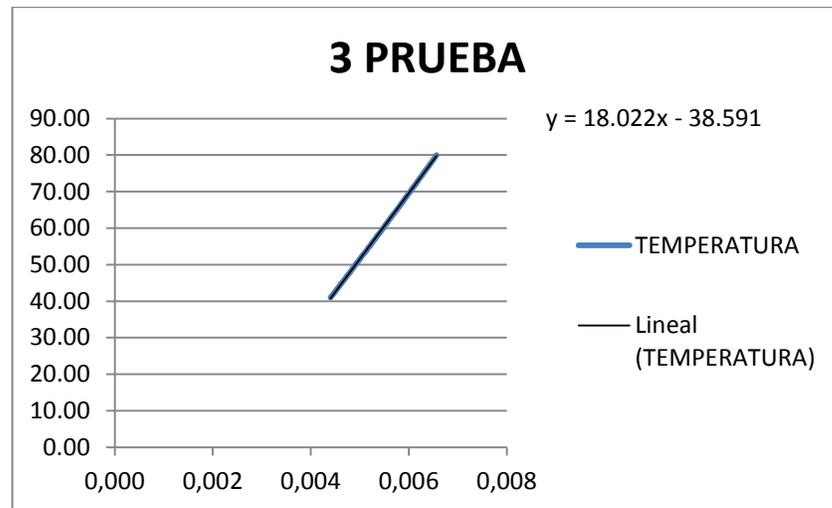
Fuente: Autores

Grafica 2 Representación gráfica de los datos y la respectiva ecuación 2 prueba



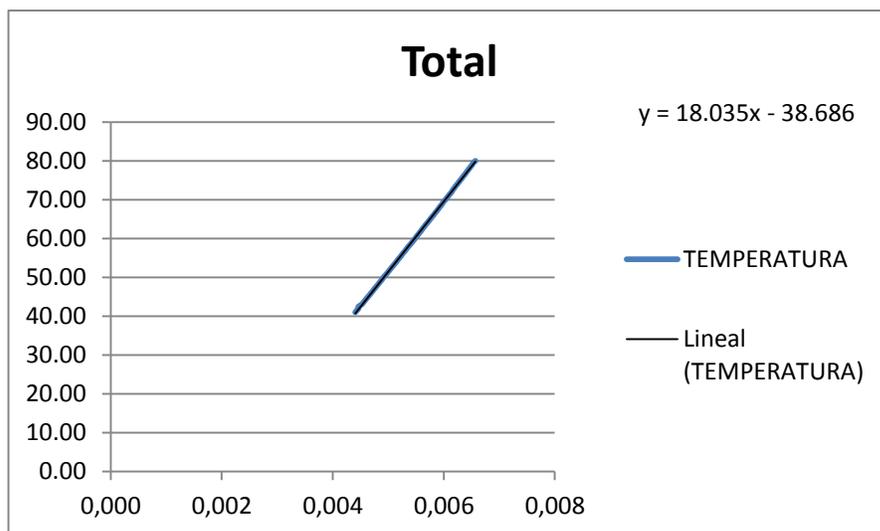
Fuente: Autores

Grafica 3 Representación gráfica de los datos y la respectiva ecuación 3 prueba



Fuente: Autores

Grafica 4 Representación gráfica de los datos y la respectiva ecuación promedio



Fuente: Autores

Con la ayuda de la herramienta Excel la opción “Agregar línea de tendencia” nos permite conocer la ecuación característica del sensor, para con ello permitir realizar la conversión de °C a Voltaje, en las gráficas anteriores se da a conocer la relación entre temperatura y voltaje encontrada en las pruebas de laboratorio, la tendencia que se acercó en 0,2 % a los valores de la sonda vernier es el de la prueba donde se promedió los valores y el programa utilizado para caracterizar el sensor se encuentra en la figura 26.

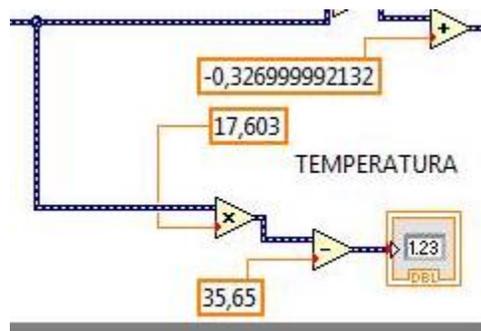


Figura 26 Programa caracterización sensor

Fuente: Autores

A continuación se describen las características generales de cada controlador:

7.2.2.1 Controlador de Temperatura

Para el desarrollo del sistema de control de temperatura el dispositivo que permite subir la temperatura dentro del biorreactor es una resistencia de banda en acero inoxidable con una potencia de 300W, este actuador reduce las zonas con altas temperaturas en el interior del biorreactor debido a que se calienta de manera homogénea.

Para la etapa de sensado de la temperatura se utilizó como elemento patrón la sonda de temperatura de Vernier la cual tiene un rango de operación de -40 a

135°C con una precisión de 0.2 a 0.5 ° C, con esta se linealizó la PT100 con un rango de operación entre 10-70°C con una precisión de 0,4° C.

EL sistema de control de temperatura al iniciar el proyecto se pensaba realizar con un control on/off, en este se presentan dos valores máximo y mínimo los cuales son conmutados entres si, este cambio se realiza cuando la temperatura en el interior del reactor sobrepasa el punto de referencia con una tolerancia fijada por el usuario. Esta técnica no se llevó a cabo debido a factores negativos que influyen en el crecimiento de los microorganismos como lo son, el error en estado estacionario es muy alto y el elevado consumo energético generado por la conmutación de la resistencia de banda, para solucionar esta falla se optó por un controlador PI y para el desarrollo de este fue necesario la identificación del sistema, la cual se obtuvo a través del modelamiento por caja negra donde nos interesa la dinámica externa del proceso, en este se envían señales de prueba al sistema para asi observar la respuesta transitoria del mismo y hallar un modelo que se comporte de manera similar al real.

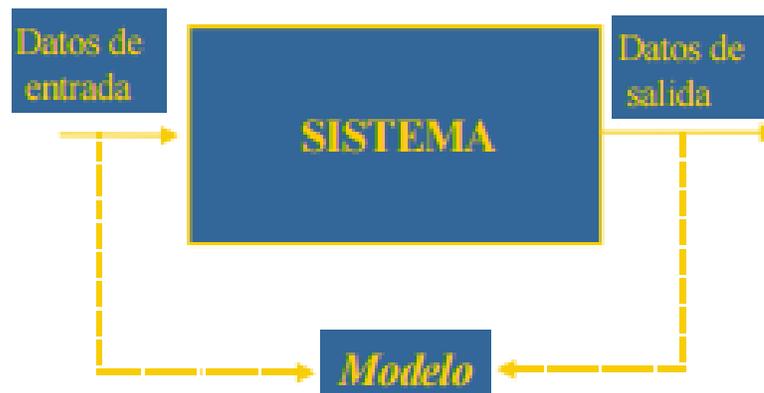


Figura 27 Diagrama bloques identificación sistema modelo caja negra

Fuente: Autores

En el experimento de obtención de la función de transferencia del sistema de control de temperatura fue necesario la ubicación de dos puntos de estabilización del sistema para obtener el rango de trabajo a utilizar y dentro de este caracterizar el sistema, para ello se utilizó como entrada una señal con un periodo de 15 seg donde 1 seg permanecía encendido la resistencia de banda y 14 apagados, con esta señal el sistema se estabilizo en 32° C y el tiempo en alcanzar la estabilidad fue de 13 horas, para la obtención del segundo punto de estabilidad se aumentó el tiempo de encendido a 3 seg y apagados 12 seg, en donde la temperatura se estabilizo en 53° C y tardo el mismo tiempo en alcanzar este punto, en la figura 4 se muestra la gráfica donde se puede corroborar la anterior información.

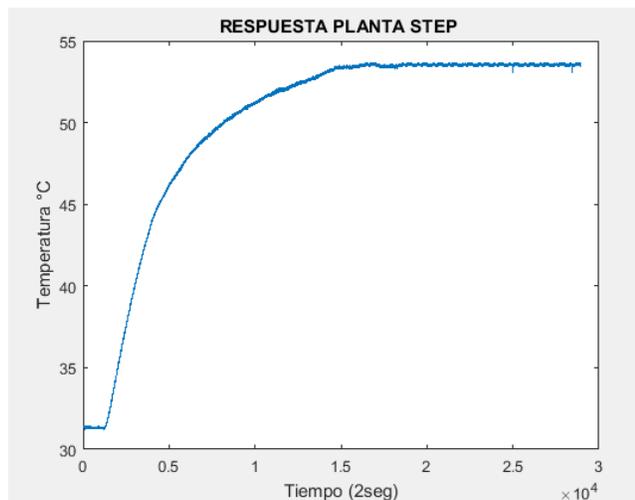


Figura 28 Respuesta planta puntos de estabilización.

Fuente: Autores

Con ayuda de la herramienta PID Tuner de Matlab se realizó la identificación del sistema, donde se obtuvo una similitud del 80% en las respuestas transitorias del sistema real y el propuesto ante la misma entrada, en la figura 5 corrobora la información municionada con anterioridad.

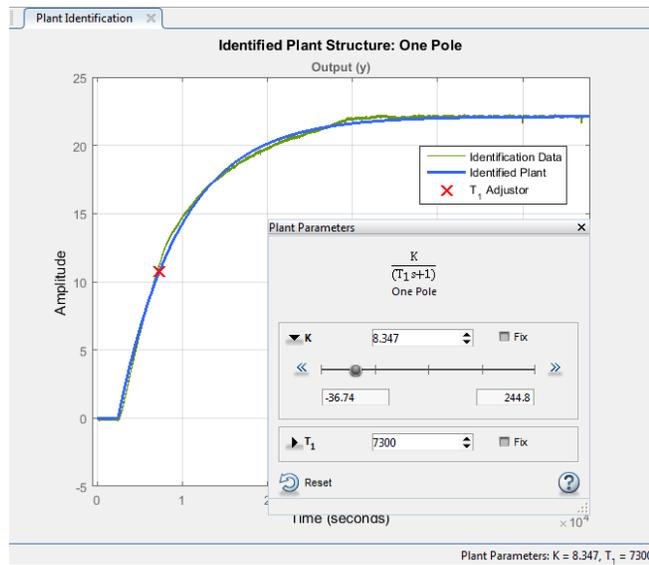


Fig 29. Obtención función de transferencia PID Tunner.

Fuente: Autores

El diseño del controlador se realizó en la herramienta PID Tuner de Matlab con un error en estado estacionario de 0.1%, el sistema de control de temperatura se realizó permitiendo así manejar un rango de temperatura entre 32° y 50° C. En la figura 6 y 7 se muestra el comportamiento del sistema con diferentes puntos de referencia.

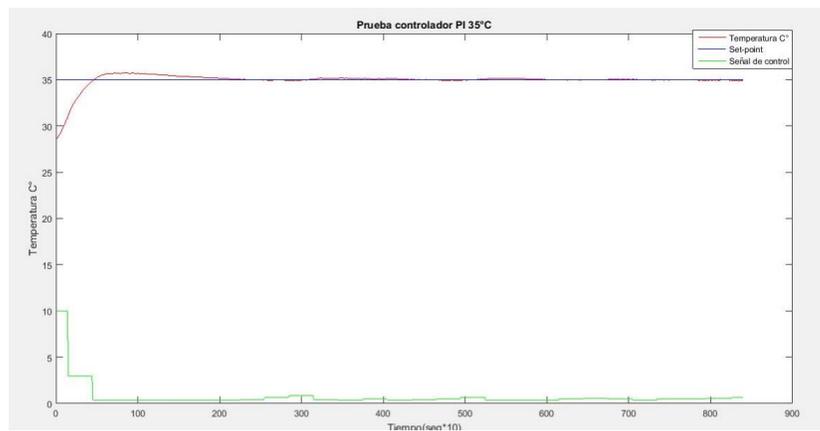


Fig 30 Respuesta setpoint 35° C

Fuente: Autores

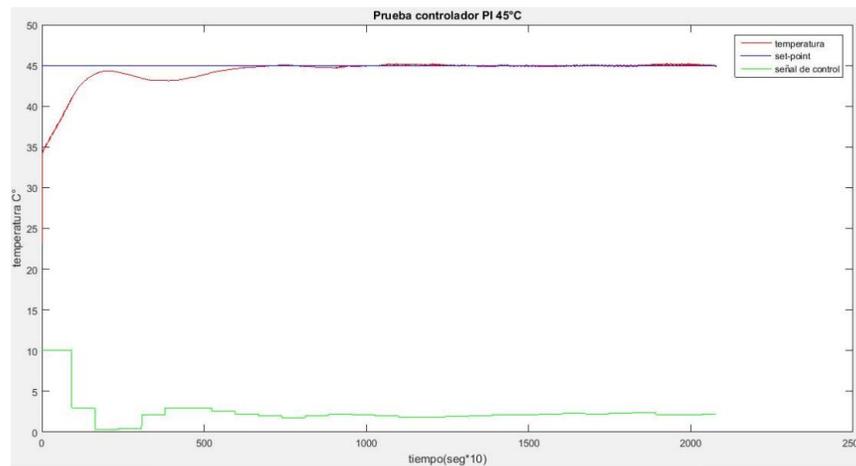


Fig 31 Respuesta setpoint 45° C

Fuente: Autores

Velocidad:

El sistema de control de velocidad del mezclador se tienen 3 puntos de referencia alto, medio y bajo, como sensor se utiliza un motor DC como generador para poder controlar las 3 velocidades del sistema, el dispositivo que permite variar la velocidad del mezclador es un motor DC de 12 V con una velocidad MAX de 120 RPM, los biorreactores deben manejar una velocidad MAX de 600 RPM, esta condición se logra satisfacer con una relación 1/5 de piñonera que permite alcanzar dicha velocidad, Para identificar el modelo del sistema se realizaron pruebas por modelo de caja negra en donde a través de pruebas se generó datos de entrada y salida.

Se tiene como señal de entrada del sistema el Voltaje de una señal Pseudoaleatoria PBRS la cual tiene una magnitud entre 0,86 V Y 0,96 V, la señal de salida es la velocidad del motor, en la fig 8 se muestra la gráfica de los valores obtenidos en la experiencia, con la herramienta sisotool se halla en controlador de la planta con un error en estado estacionario de 0,2%.

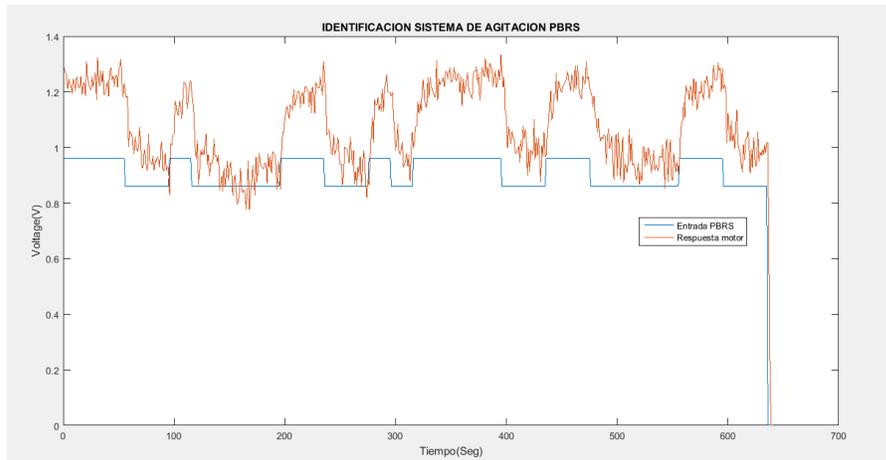


Fig 32. Identificación planta motor

Fuente: Autores

8. RESULTADOS

Poder monitorear y controlar los parámetros de velocidad de agitación y temperatura de un biorreactor, contribuyen positiva y significativamente a aumentar los rendimientos obtenidos en los procesos biológico-industriales que en su interior ocurren. Teniendo en cuenta que los procesos biológicos se llevan a cabo de forma permanente y continua dentro de un tanque de fermentación, siempre y cuando se suministre periódicamente sustrato, de forma ideal, estos procesos no solo deben poder seguirse en tiempo real de forma remota sino que deben poderse controlar desde cualquier lugar. De esta forma, se podría corregir cualquier variación significativa de los parámetros más importantes, debido a fenómenos externos o internos.

A continuación se da a conocer el biorreactor de laboratorio ya finalizado donde se observa los sistemas de medición funcionando y los controles de temperatura y velocidad alcanzando los niveles requeridos por el usuario, además se puede validar la interfaz de monitoreo desde un ordenador conectado a la red LAN del Tecnoparque “la Granja”.



Figura 33 Biorreactor de laboratorio F&S implementado.

Fuente: Autores

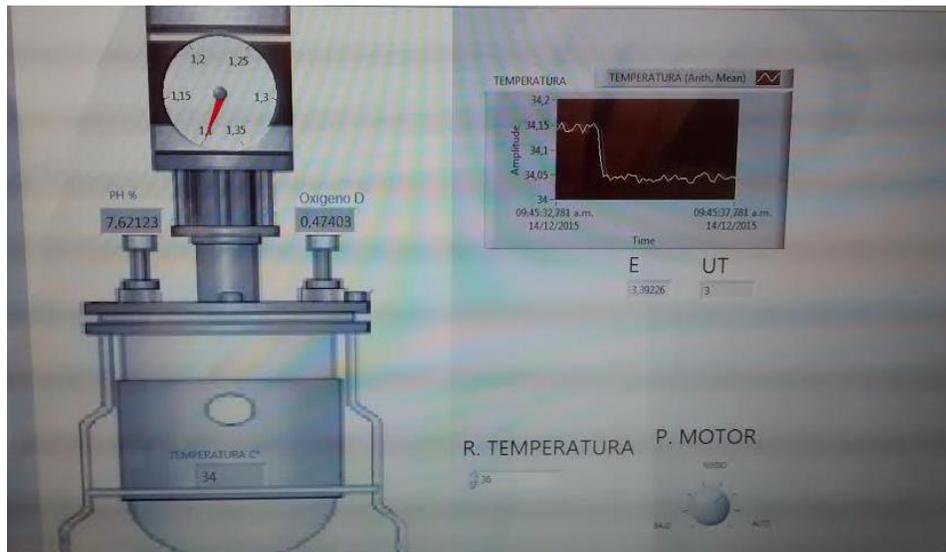


Figura 34. Interfaz de monitoreo y control biorreactor de laboratorio F&S.

Fuente: Autores

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La solución diseñada e implementada brinda al usuario versatilidad debido a que se puede cambiar los puntos de referencia para cada proceso que se realice en el biorreactor, se estableció los parámetros más importantes en la incubación artificial de microorganismos como lo son temperatura y homogeneidad del cultivo (agitación), además es de interés conocer el valor actual del Ph y el porcentaje de oxígeno disuelto.
- Se verificó el correcto funcionamiento del sistema operando de forma integrada, mediante una prueba operativa durante un intervalo de tiempo, donde se evidencio el adecuado manejo de alarmas dentro del laboratorio.
- se verifico el acceso a la página a través de internet cuando se brinda una dirección IP fija con la condición de que en el ordenador donde se va a realizar el seguimiento al proceso tenga instalado el software de national instruments Labview.
- Con el almacenamiento de los datos obtenidos durante el funcionamiento del sistema genera mayor robustez al biorreactor ya que se pueden tomar acciones correctivas para los posteriores cultivos.

Recomendaciones

- Para el desarrollo óptimo de los microorganismos es necesario diseñar e implementar los controladores de oxígeno disuelto y pH.

- Para implementar sistemas que permitan el control remoto del proceso es indispensable proporcionar un direccionamiento público para que el sistema se pueda acceder.

REFERENCIAS

- [1] Ecured, Biología (ciencia). [En línea] <http://www.ecured.cu/Biolog%C3%ADa_%28ciencia%29> [citado 20 Octubre de 2015].
- [2] Significados, Significado de tecnología. [En línea] <<http://www.significados.com/tecnologia/>> [citado 20 octubre de 2015].
- [3] Acércate a la biotecnología, ¿Que es la Biotecnología?. [En línea] <http://www.biopositivizate.com/es/que_es_la_biotecnologia.html> [citado 20 octubre de 2015].
- [4] Capitulo II, Bioreactores. [En línea] <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/1608/Capitulo2.pdf>> [citado 20 agosto de 2015].
- [5] Universidad Veracruzana, Facultad de ciencias químicas. Reactor tipo batch. [En línea] <<https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion/2-1-reactor-tipo-batch>> [citado 20 agosto de 2015].
- [6] Universitat Politècnica de Catalunya. Estudio del comportamiento de reactores discontinuos y semicontinuos: modelización y Comprobación experimental. [En línea] <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6463/02_grauVilalta_capitol_1.pdf?sequence=2> [citado 20 agosto de 2015].
- [7] Universidad Veracruzana, Facultad de ciencias químicas. Reactor de flujo de mezcla completa RFMC. [En línea] <<https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion/2-2-reactor-de-flujo-de-mezcla-completa-rfmc>> [citado 20 agosto de 2015].
- [8] Boston Laboratory Equipment, BioStat A plus 2L work cell for Sale [En línea] <<http://www.bostonlabco.com/biostat-a-plus.html>> [citado 23 de agosto 2015]
- [9] Biorreactor de 3 litros. [En línea] <http://www.myinstrumentostecnicos.com/wenv/file_data.php?id=397> [citado 24 de agosto de 2015]
- [10] Elektropunto “la electrónica a un clic”. Moqueta calefactora autoadhesiva. [En línea] <http://elektropunto.com/resistencias-y-elementos-termicos/15417-moqueta-calefactora-autoadhesiva.html#/potencia_watios-68w> [citado 24 de agosto de 2015]

- [11] Julabo. Optimo control de temperatura reactores. [En línea] <<http://www.julabo.com/sites/default/files/downloads/whitepapers/Libro-Blanco-Optimo-control-de-temperatura-de-reactores.pdf>> [citado 25 de agosto de 2015]
- [12] Incubadora de microorganismos para biorremediación de suelos y tratamiento de agua contaminada. [En línea] <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicon/R-0011.pdf>> [citado 25 de agosto de 2015]
- [13] Julabo. F12-ED Criotermostato de Circulación. [En línea] <<http://www.julabo.com/es/productos/criotermostatos/criotermostatos-de-circulacion/f12-ed-criotermostato-de-circulacion>> [25 de agosto de 2015]
- [14] Omega. Pt100 [En línea] <<http://es.omega.com/prodinfo/pt100.html>> [citado 26 de agosto de 2015]
- [15]Sigma Electronica. PT100. [En línea] <<http://www.sigmaelectronica.net/pt100-p-2073.html>> [citado 26 de agosto de 2015]
- [16]Termokew S.A. Termopares diseño y fabricación. [En línea] <<http://www.termokew.mx/termopares.php>> [citado 27 de agosto de 2015]
- [17]Via industrial. Termocupla. [En línea] <<http://www.viaindustrial.com/cotizacion.asp>> [citado 27 de agosto de 2015]
- [18] National semiconductor. LM35. [En línea] <<http://www.sigmaelectronica.net/manuals/LM35.pdf>> [citado 28 de agosto de 2015]
- [19] Sigma electrónica. LM35DZ. [En línea] <<http://www.sigmaelectronica.net/lm35-p-142.html>> [citado 28 de agosto de 2015]
- [20] Equipos y laboratorio. 88880011 agitador magnético rt básico marca thermo scientific. [En línea]. <http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/productos_mo.php?it=11954> [citado 28 de agosto de 2015].
- [21] Cymitquiica.com. Magnetic Stirrer RT Basic series; 220mm top; AC 100-240V, 50/60Hz with power adapter for US plug. [En línea] <<https://www.cymitquimica.com/es/producto-quimico/tf-88880011/magnetic-stirrer-rt-basic-series;-220mm-top;-ac-100-240v,-50~60hz-with-power-adapter-for-us-plug/>> [citado 28 de agosto de 2015]

[22] Thermoscientific. Agitador de vaivén. [En línea]. <<http://www.equinlabsac.com/content/agitador-de-vaiv%C3%A9n-orbital-de-doble-acci%C3%B3n-maxq>> [citado 29 de agosto de 2015]

[23] Optimizacion de procesos de tecnología S.A.S. Agitadores industriales. [En línea] <<http://agitacion.opt-ing.com/recursos-catalogos-blog/mundo-agitacion/tipos-agitadores>> [citado 29 de agosto de 2015]

[24] Infoagro.com. Agitador mecanico y de varilla. [En línea] <http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=3023&_agitadores__agitador__agitador_mecanico__mezclador__agitador_de_varilla__agitador_de_laboratorio__stirrer__mechanical_rod_stirrers__mezclador_de_varilla__mezclador_digital__agitador_digital__placa_agitadora__auxilab__agitadores_686_varillas_para_agitar_tienda_on_line> [citado 30 de agosto de 2015]

[25]Sensorex. DO1200 and DO1200TC Dissolved Oxygen Sensors. [En línea] <<http://www.sensorex.com/docs/SpecsDO1200.pdf>> [citado 1 de septiembre de 2015]

[26]Aguatec. Cotizacion sondas Ph y oxígeno disuelto [En línea] <<https://mail.google.com/mail/u/0/#search/oxigeno+disuelto/14faf107dfeac763?projector=1>> [citado 8 septiembre 2015]

[27] Vernier. Oxígeno Disuelto. [En línea] <<http://www.vernier-iberica.com/do.html>> [citado 2 de septiembre de 2015]

[28]Vernier.com. Dissolved Oxygen Probe. [En línea] <<http://www.vernier.com/products/sensors/dissolved-oxygen-probes/do-bta/>> [citado 2 de septiembre de 2015]

[29] Vernier. pH Sensor. [En línea] <<http://www.vernier.com/products/sensors/ph-sensors/ph-bta/>> [citado 2 de septiembre de 2015]

[30] <http://hawkins-assoc.com>. Submersible Flat-Surface, Self-Cleaning pH and ORP Electrodes. [En línea] <<http://hawkins-assoc.com/wp-content/uploads/2015/05/SpecsS600Submersion.pdf>> [citado 3 de septiembre de 2015]

[31] <http://hawkins-assoc.com>. Flat-Surface, Self-Cleaning pH and ORP Electrodes [En línea] <<http://hawkins-assoc.com/wp-content/uploads/2015/05/SpecsS600Inline.pdf>> [Citado 3 de septiembre de 2015]

[32] National instruments. Daq6009 [En línea] <<http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-218>> [Citado 5 de octubre de 2015]