

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño, construcción y validación de un biorreactor a escala de
laboratorio con control automático"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Multidisciplinario de Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Francisco Javier Saeteros Pérez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi familia, y a mis amigos por la ayuda brindada durante este tiempo para alcanzar mi meta; a los tutores, por su tiempo y recursos compartidos para la elaboración de este documento; a mis compañeros de tesis, Juan e Ivette; y a los encargados de los diversos laboratorios donde se nos facilitó el acceso para las pruebas necesarias del equipo.

Francisco Javier Saeteros Pérez

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Francisco Javier Saeteros Pérez

Ing. Jorge Medardo Marcial Hernández

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".



Francisco Saeteros



Ing. Jorge Marcial

RESUMEN

Ante la necesidad de adquirir un biorreactor por parte de la carrera de Ingeniería en Alimentos, la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP), en el marco de la Materia Integradora de la carrera de Ingeniería en Mecánica, realizó el diseño de un biorreactor tipo tanque agitado durante el segundo término 2016-2017 bajo el título de “Diseño de un biorreactor a escala de laboratorio y su sistema de control”; donde se desarrolló un prototipo con circuitos electrónicos de bajo costo.

El presente proyecto es la continuación del proyecto mencionado, donde se rediseñó el prototipo para mejorar su operación y confiabilidad, sustituyendo los componentes de bajo costo por sistemas electrónicos de gama industrial. El proyecto se desarrolló como Proyecto Multidisciplinario en el que integra 3 carreras: Ingeniería en Mecánica, para el análisis térmico y estructural del tablero de control; Ingeniería en Electrónica y Automatización, para mejorar el sistema de control de las variables a sensar durante el cultivo de microorganismos; e Ingeniería en Alimentos, para validar el desempeño del equipo durante el proceso de cultivo.

Como parte de los objetivos de la carrera de Ingeniería en Mecánica, se realizó el análisis estructural del tablero de control, según lo estipulado en la norma IEC 60 068-2-27. En este análisis se utilizó el método de elementos finitos, para dimensionar los elementos de sujeción y satisfacer los factores de seguridad requeridos.

En el análisis térmico se verificó que las temperaturas de trabajo de los componentes electrónicos no excedan las especificadas por el fabricante. Se realizaron dos casos de estudio: Sistema sellado y sistema ventilado. En el primer análisis se consideró que el aire no podía circular fuera del tablero y las potencias disipadas por los componentes electrónicos eran de 45W en total. Con estas consideraciones, el aire alcanzó una temperatura de 61°C mediante cálculos analíticos y simulaciones Computational Fluid Dynamics (CFD); que excede la máxima especificada por el fabricante de los componentes electrónicos (60°C). En el segundo caso se consideró áreas de entrada y salida de aire, así como la trayectoria del fluido dentro del tablero. La máxima temperatura dentro del tablero fue de 49.5°C; por lo que resulta óptimo para los componentes del sistema de control.

Palabras Clave: Biorreactor, sistemas de control, análisis térmico, CFD.

ABSTRACT

Given the need to acquire a bioreactor from the Food Engineering career, the Faculty of Mechanical Engineering and Production Sciences (FIMCP), within the framework of the Integrative Subject of the Mechanical Engineering career, carried out the design of a stirred tank type bioreactor during the second term 2016-2017 under the title "Design of a laboratory-scale bioreactor and its control system"; where a prototype was developed with low-cost electronic circuits.

The present project is the continuation of the mentioned project, where the prototype was redesigned to improve its operation and reliability, replacing the low-cost components with electronic systems of industrial range. The project was developed as a Multidisciplinary Project that integrates 3 careers: Engineering in Mechanics, for the thermal and structural analysis of the control board; Engineering in Electronics and Automation, to improve the control system of the variables to be sensed during the culture of microorganisms; and Food Engineering, to validate the performance of the equipment during the cultivation process.

As part of the objectives of the Mechanical Engineering career, the structural analysis of the control board was carried out, as stipulated in IEC 60068-2-27. In this analysis, the finite element method was used to dimension the fastening elements and to satisfy the required safety factors.

In the thermal analysis, it was verified that the working temperatures of the electronic components did not exceed those specified by the manufacturer. Two case studies were performed: Sealed system and ventilated system. In the first analysis, it was considered that the air could not circulate outside the board and the powers dissipated by the electronic components were of 45W in total. With these considerations, the air reached a temperature of 61°C by means of analytical calculations and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations; which exceeds the maximum specified by the manufacturer of the electronic components (60°C). In the second case, air inlet and outlet areas were considered, as well as the path of the fluid inside the board. The maximum temperature inside the board was 49.5°C; so, it is optimal for the components of the control system.

Keywords: Bioreactor, control systems, thermal analysis, CFD.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE PLANOS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos (Ingeniería en Automatización)	2
1.2.3 Objetivos Específicos (Ingeniería en Mecánica)	2
1.2.4 Objetivos Específicos (Ingeniería en Alimentos)	3
1.3 Marco teórico	3
CAPÍTULO 2.....	10
2. Metodología	10
2.1 Requerimientos del cliente.....	11
2.2 Búsqueda de información	11
2.3 Generación de Conceptos	11
2.3.1 Descomposición Funcional	11
2.3.2 Carta morfológica.....	12

2.4	Evaluación de conceptos	13
2.4.1	Tipo de Caja.....	13
2.4.2	Tipo de enfriamiento.....	16
2.5	Selección del Diseño	19
2.6	Diseño Conceptual	19
2.7	Configuración del Diseño.....	20
2.7.1	Caja de soporte para elementos de control.....	20
2.7.2	Sistema de enfriamiento.....	27
2.7.3	Datos experimentales de la temperatura.....	41
CAPÍTULO 3.....		42
3.	Resultados	42
3.1	Análisis de resultados	42
3.1.1	Resultados del ensayo de impacto de la caja	42
3.1.2	Resultados del análisis de temperatura del aire en caja sellada.....	43
3.1.3	Resultados del análisis de temperatura del aire en convección natural .	46
3.2	Análisis de Costos	49
CAPÍTULO 4.....		52
4.	Discusión y Conclusiones	52
4.1	Conclusiones	52
4.2	Recomendaciones.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....		55
APÉNDICES		58

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CIBE	Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador
IEC	International Electrotechnical Commission
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
UL	Underwriters Laboratories
ASTM	American Society for Testing and Materials
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	International Organization for Standardization
STR	Stirred Tank Reactor
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
PLC	Programmable Logic Controller
HMI	Human Machine Interface

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetros
in	Pulgadas
pH	Potencial de Hidrógeno
W	Watts
N	Newton
GPa	Giga Pascales
MPa	Mega Pascales
kpsi	Mil libras por pulgada cuadrada
s	segundos
V	Voltios
A	Amperios
h	Coeficiente convectivo
°C	Grados Celsius
ppm	Partes por millón
mg/l	Miligramos por litro
rpm	Revoluciones por minuto
S_{sy}	Límite de fluencia al cortante
S_y	Límite de fluencia
τ	Esfuerzo cortante
d	diámetro
P	Potencia
Q	Calor
Cp	Calor específico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Biorreactor tipo STR de laboratorio	3
Figura 1-2 Esquema de un Biorreactor tipo STR	6
Figura 1-3 Tanque sin presencia de baffles	7
Figura 1-4 Tanque con presencia de baffles.....	7
Figura 1-5 Modos de transferencia de calor	8
Figura 2-1 Metodología de diseño	10
Figura 2-2 Diseño conceptual	19
Figura 2-3 Modelo 3D del tablero de control con los elementos	21
Figura 2-4 Contacto definido entre el riel DIN y la caja	22
Figura 2-5 Contacto definido entre el elemento y el riel DIN.....	22
Figura 2-6 Mallado y disposición de la aceleración de 15g.....	23
Figura 2-7 Apoyos fijos de la caja	23
Figura 2-8 Parte frontal de la caja	26
Figura 2-9 Parte trasera de la caja.....	26
Figura 2-10 Circuito térmico de la caja (tridimensional)	30
Figura 2-11 Circuito reducido 1	31
Figura 2-12 Circuito reducido 2.....	31
Figura 2-13 Circuito equivalente final.....	32
Figura 2-14 Circuito térmico considerando convección natural	34
Figura 2-15 Fórmulas para la resistencia del flujo de aire	35
Figura 2-16 Resistencias debido a la trayectoria del flujo.....	36
Figura 3-1 Deformación total.....	42
Figura 3-2 Fuerza de corte en el perno más crítico	43
Figura 3-3 Plano de corte de la caja paralelo a cara trasera	44
Figura 3-4 Líneas de fluido dentro de la caja sellada.....	45
Figura 3-5 Líneas de flujo en la parte exterior de la caja sellada	46
Figura 3-6 Plano de corte de la caja paralelo a cara trasera	47
Figura 3-7 Líneas de flujo en la parte exterior de la caja sellada	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Clasificación de los biorreactores	4
Tabla 1-2 Aplicaciones de los biotensiactivos.....	5
Tabla 2-1 Requerimientos del diseño	11
Tabla 2-2 Carta Morfológica.....	12
Tabla 2-3 Comparación de criterios	14
Tabla 2-4 Matriz de decisión	15
Tabla 2-5 Comparación de criterios	17
Tabla 2-6 Matriz de decisión	18
Tabla 2-7 Propiedades mecánicas del acero galvanizado.....	20
Tabla 2-8 Dimensiones de los pernos del estándar métrico ISO	25
Tabla 2-9 Temperaturas máximas y mínimas de los componentes críticos del sistema de control	28
Tabla 2-10 Iteraciones para el cálculo de <i>T_{air}</i> – <i>TA</i> de los análisis de caja sellada y convección natural	39
Tabla 2-11 Datos de temperatura experimentales	41
Tabla 3-1 Costos de estructura del Biorreactor.....	49
Tabla 3-2 Costos de complementos del Biorreactor	50
Tabla 3-3 Insumos para pruebas en laboratorios del proceso biotecnológico	51
Tabla 4-1 Especificaciones del biorreactor	59

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Caja de control - Ensamble
PLANO 2	Caja
PLANO 3	Puerta

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Un biorreactor es un recipiente en el que se realizan reacciones biológicas con células o microorganismos (Vela, 2006, p. 38). Su importancia radica en que permite realizar pruebas a escala para la posterior producción de enzimas, proteínas y anticuerpos que son utilizados en la producción de medicamentos; tratamiento de aire contaminado por medio de la reproducción de un microorganismo que consume ciertos contaminantes en el aire; depuración de aguas residuales; biolixiviación de minerales; cultivo de células; ingeniería de tejidos; entre otras (“2.5 Aplicaciones de los biorreactores - Bioingeniería”, s/f). Estos equipos suelen estar valorados a precios muy elevados debido a que permiten controlar una considerable cantidad de variables para un mejor desarrollo de sus funciones. A esto, se le debe adicionar el mantenimiento que debe recibir y que sólo puede ser realizado por personal altamente capacitado; lo que hace que adquirir y mantener un biorreactor de alta calidad muy costoso y probablemente demasiado complejo para el objetivo que se quiere alcanzar.

El diseño de biorreactores se puede dividir en tres partes: La parte estructural, donde se contemplan diversos aspectos como son el dimensionamiento, los materiales a utilizar, la ergonomía, la facilidad que tendrá para su limpieza y mantenimiento, el sistema de agitación, y el sistema de intercambio de calor. La parte de control, donde se manejan las propiedades del cultivo mediante sensores y módulos de adquisición y manejo de datos para poder controlar el proceso que se esté llevando a cabo de manera continua. Y la parte de cultivo, al interior del biorreactor donde se va verificando el estado del cultivo y se va monitoreando el estado del proceso que se esté llevando a cabo.

Actualmente el Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), laboratorio ubicado en ESPOL, cuenta con uno de estos biorreactores, pero se encuentra disfuncional debido a los costos elevados que representa su mantenimiento. Ante esta situación se consideró la idea de realizar el diseño de un biorreactor para este laboratorio con las funciones necesarias con las que debería

contar para que pueda ser utilizado para los estudios que se realizan en este laboratorio. Se espera, por tanto, diseñar un biorreactor que cumpla con las especificaciones requeridas, que sea de bajo costo, y que sea con control automático para luego realizar una validación del diseño de acuerdo a sus resultados.

Debido a que el diseño de un biorreactor se compone de varias disciplinas, se realiza un proyecto multidisciplinario en el que intervienen las carreras de Ingeniería en Electrónica y Automatización, Ingeniería en Alimentos e Ingeniería en Mecánica para llevar a cabo la realización de este proyecto. Como resultado se obtiene un biorreactor tipo tanque agitado con control automático para la carrera de Ingeniería en Alimentos de acuerdo a los requerimientos necesarios para llevar a cabo sus experimentos.

1.1 Descripción del problema

Se requiere diseñar un biorreactor tipo tanque agitado (STR) a escala de laboratorio con control automático para la carrera de Ingeniería en Alimentos. Los parámetros necesarios para el control de los cultivos serán tres: temperatura, nivel de pH, y nivel de oxígeno disuelto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Rediseño y validación de un biorreactor tipo tanque agitado (STR) a escala de laboratorio con control automático

1.2.2 Objetivos Específicos (Ingeniería en Automatización)

- Diseñar y seleccionar los equipos necesarios para el montaje del sistema de control automático, de tal manera que el operador pueda establecer una condición inicial de las variables a controlar.

1.2.3 Objetivos Específicos (Ingeniería en Mecánica)

- Diseño de la componente estructural del sistema de control.
- Análisis térmico del tablero de control

- Análisis de la integridad estructural del tablero de control ante la manipulación y transporte del mismo

1.2.4 Objetivos Específicos (Ingeniería en Alimentos)

- Conocer las condiciones óptimas de crecimiento de la bacteria involucrada para la producción de biotensiactivos.
- Comparar la producción del biotensiactivo en el laboratorio y en el biorreactor.
- Realizar pruebas en el prototipo y en el equipo final.
- Validar el sistema de control del biorreactor, sobre un producto de compuestos bioactivos o alimentos.
- Desarrollar procesos de cultivos de microorganismos, a través del uso del biorreactor.

1.3 Marco teórico

Un biorreactor o fermentador es un equipo que permite realizar cultivos de microorganismos o células. Esto requiere el control de un conjunto de parámetros como temperatura, nivel de pH, y nivel de oxígeno disuelto para poder determinar el tipo de microorganismo que se desea cultivar. Existen varios tipos de biorreactores que se clasifican como se muestra en la Tabla 1.1.



Figura 1-1 Biorreactor tipo STR de laboratorio

Fuente: (“Biorreactor de laboratorio / de un solo uso - BIOSTAT® STR - Sartorius Group”, s/f)

Tabla 1-1 Clasificación de los biorreactores

Tipo de Clasificación	Detalle
Proceso biológico	<ul style="list-style-type: none"> • Anaeróbico • Facultativo • Aeróbico
Proceso bioquímico	<ul style="list-style-type: none"> • Sin agitación/con aireación • Con agitación/con aireación • Con agitación/sin aireación
Fases	<ul style="list-style-type: none"> • Homogéneo • Heterogéneo
Modo de configuración	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque agitado (STR) • Air lift • Lecho fluidizado • Microportador • De membrana • Fotobiorreactor • De espacio • De tejido • De resonancia magnético nuclear (NMR) • De doble espectrómetro de masa • Integrado

Fuente: (Ganesh Karanth & Eugene Raj, 2005)

El producto de los biorreactores son los biotensiactivos que son biomoléculas producidas por una variedad de microorganismos. Se los utiliza para la elaboración de detergentes, productos farmacéuticos, aceites, productos alimenticios, entre otros. Estas sustancias tienen la gran ventaja de ser biodegradables, contrario a los tensioactivos que son agentes utilizados con el mismo fin, pero con un alto grado de toxicidad y alta resistencia a la degradación. Actualmente, los biotensiactivos son productos muy utilizados

tanto en el sector industrial, como en el sector comercial; encontrándose en diversos productos que consumimos. A continuación, la Tabla 1.2 muestra varias aplicaciones de los biotensiactivos.

Tabla 1-2 Aplicaciones de los biotensiactivos

Industria	Aplicación	Función
Alimenticia	Ingrediente en formulaciones	Emulsificación y consistencia de los preparados alimenticios.
	Agentes antiadhesivos	Inhibición de la formación de biofilms en superficies.
Cosmética	Productos de salud y belleza	Emulsionantes, espumantes, formación de vesículas, agentes humectantes.
Farmacéutica	Agentes terapéuticos	Antimicrobianos, antivirales, anti fúngicos, inmunomoduladores, Terapia génica.
Otras Industrias	Pinturas, papel, textil, cerámica, detergentes, minería.	Agente humectante, penetrante, espesante
Petróleo	Mejora de la recuperación Emulsiones generadas	Recuperación terciaria de petróleo.
		Liberación de crudo atrapado en los capilares de las rocas.
		De - emulsificación y solubilización de crudo, reducción viscosidad y YTS.
Medio Ambiente	Biorremediación de suelos contaminados por metales e hidrocarburos	Movilización de tóxicos adsorbidos a las partículas del suelo, aumento de su biodegradación.
	Tratamiento de aguas residuales oleosas y derrames de crudo	De - emulsificación y aumento del crecimiento microbiano.
Agricultura	Control biológico	Acción directa o facilitando la acción de otros microorganismos.
		Adyuvante en pesticidas y herbicidas.

Fuente: (Muthusamy, Gopalakrishnan, Ravi, & Sivachidambaram, 2008)

La bacteria a cultivarse será la *bacillus subtilis* que es una bacteria Gram positiva en forma de bastón, hallada generalmente en el suelo. El crecimiento de esta bacteria se da a una temperatura de 37°C, donde también es capaz de reproducirse. Esta bacteria es usada por la industria farmacéutica en la elaboración de antibióticos muy útiles como Bacitracin, usado generalmente en tratamientos para infecciones en la piel, oídos y ojos (“bacillus | bacteria”, s/f) (“antibiotic | chemical compound”, s/f).

El biorreactor STR es un recipiente donde contiene el cultivo y que debe cumplir determinados requerimientos como el material de fabricación, hermeticidad, de capacidad adecuada. Está compuesto por un eje con alabes acoplado a un motor para la parte del mezclado del cultivo; diversos sensores para poder controlar el estado del cultivo; la parte electrónica que se encargará de controlar las variables que receptorá de los sensores; y, baffles que se encargarán de hacer turbulento el fluido para mejorar la mezcla.

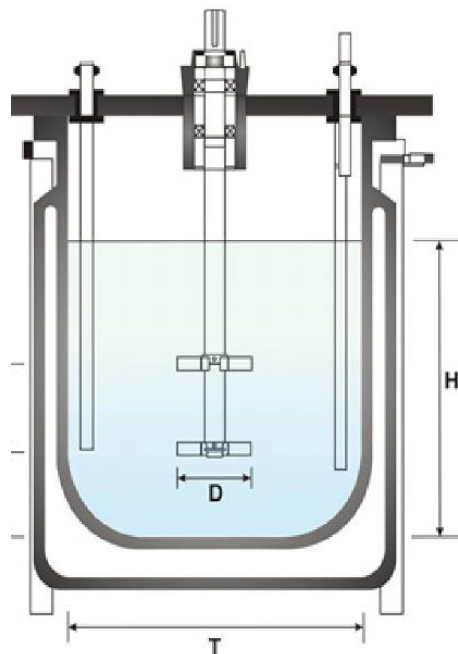


Figura 1-2 Esquema de un Biorreactor tipo STR

Fuente: (Nunez-Ramirez, 2012)

Los baffles son láminas ubicadas dentro del tanque para prevenir vórtices y permitir que el fluido tenga un movimiento desde el fondo hasta la parte superior, siendo ideal para permitir una mezcla homogénea dentro del biorreactor y para mejorar la transferencia de calor desde la parte inferior del tanque hacia la parte superior (“Mixing 101”, 2012).

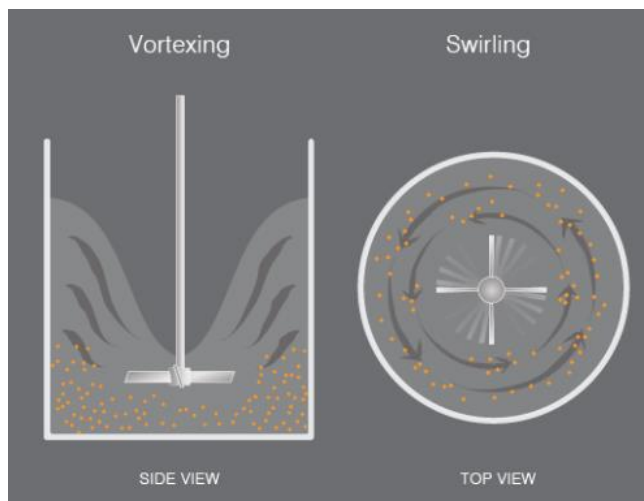


Figura 1-3 Tanque sin presencia de baffles

Fuente: (“Mixing 101”, 2012)

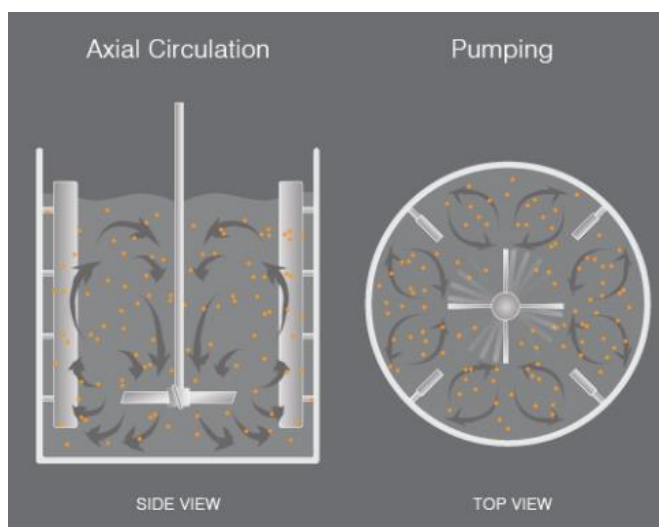


Figura 1-4 Tanque con presencia de baffles

Fuente: (“Mixing 101”, 2012)

La transferencia de calor es el transporte de energía de un sistema a otro como resultado de una diferencia de temperatura. Existen tres mecanismos de transferencia de calor: Conducción, convección y radiación.

La transferencia de calor por conducción se realiza cuando los sistemas están en contacto directo y a diferentes temperaturas, produciéndose el transporte de calor. Cuando es por convección, el sistema transfiere calor por medio de un fluido a sus alrededores. Por último, la transferencia por radiación se produce sin necesidad de un medio físico, sino que usa ondas electromagnéticas para propagarse.

La transferencia de calor es un evento físico que ocurre con mucha frecuencia a nuestro alrededor. Se puede ver este efecto en sistemas de refrigeración, aire acondicionado, plantas de poder, equipos electrónicos, hasta en el mismo cuerpo humano (Çengel & Ghajar, 2015).

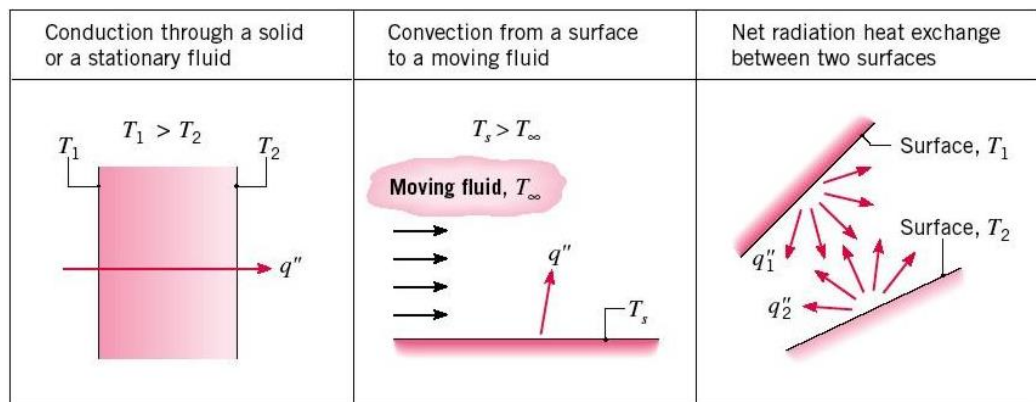


Figura 1-5 Modos de transferencia de calor

Fuente: (Çengel & Ghajar, 2015)

Los elementos electrónicos son dispositivos que trabajan dentro de un rango de temperatura para tener un correcto desempeño. Al salirse por una pequeña diferencia de este rango se les reduce el tiempo de vida útil. Cuando esta diferencia es mayor, suelen funcionar de manera inadecuada o se queman los componentes más sensibles, quedando obsoletos para su uso (Tulancingo, s/f).

Los Controladores Lógicos Programables (PLC por sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos que integran varios elementos para permitir la automatización de diversas actividades por medio de programación y los sensores o mecanismos necesarios para dichos fines (“¿Qué es un PLC y qué beneficios tiene?”, s/f).

La forma de proteger y mantener ordenados a los componentes electrónicos de un sistema es mediante gabinetes o cajas eléctricas. Protege a los componentes de medios agresivos como humedad, agua, polvo, aceite, aire contaminado, vapores corrosivos, entre otros. También le da robustez de acuerdo al lugar donde se instale la caja. Para esto hay un estándar (IEC 60 529) que permite determinar el tipo de caja conveniente de acuerdo a la aplicación en que será utilizado (KG, s/f).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Existen diversos tipos de metodologías de diseño tales como “la caja negra” de Christopher Jones, el método sistemático de Bruce Archer, el método proyectual de Bruno Munari, el modelo Diana de Oscar Olea y Carlos González, entre otros. Dependiendo del campo donde se vaya a trabajar o el grupo de trabajo con el que se cuente, un método será más eficiente que otro. El presente trabajo se guiará por medio de una combinación de metodologías para una mayor facilidad en el diseño que se desea obtener (“Metodologías para el diseño”, s/f).

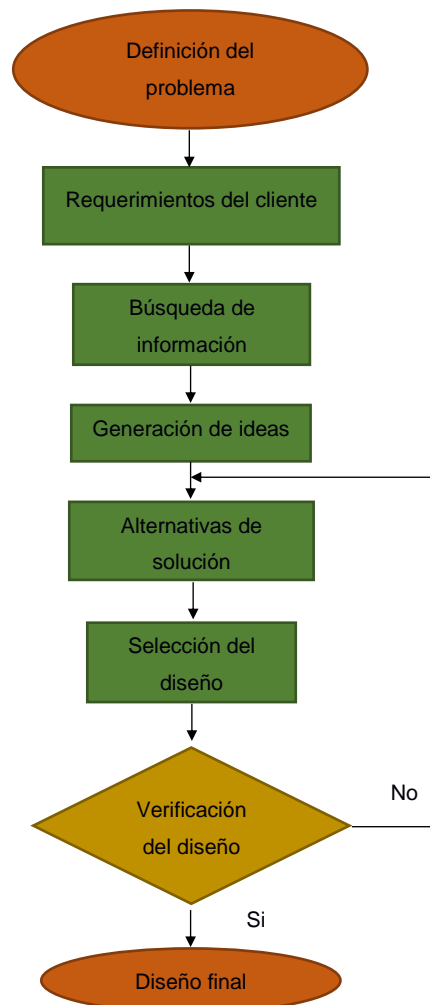


Figura 2-1 Metodología de diseño

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

2.1 Requerimientos del cliente

El diseño estructural del biorreactor se encuentra especificado en "Diseño de un biorreactor a escala de laboratorio y su sistema de control", tesis realizada por dos estudiantes de la ESPOL de la carrera de Ingeniería en Mecánica. En ese documento se detalla el proceso de diseño de un biorreactor tipo tanque agitado (STR por sus siglas en inglés). Los requerimientos de diseño actuales que corresponden a la parte de Ingeniería en Mecánica van más orientados a la parte térmica y estructural del sistema de control del biorreactor. Se debe realizar una caja o gabinete para la disposición y protección de los componentes electrónicos. Se debe realizar el diseño de un sistema de enfriamiento para evitar daños en los componentes electrónicos. Por último, se debe realizar un ensayo de caída para garantizar el funcionamiento normal de los componentes electrónicos ante la manipulación del conjunto de control, así como de descuidos ocasionados por los operadores del equipo. Por lo tanto, los requerimientos son:

Tabla 2-1 Requerimientos del diseño

Temperatura máxima de elementos	60 °C
Material de construcción	Acero galvanizado
Montaje de elementos	Fácil
Mantenimiento	Bajo costo
Apariencia	Elegante
Costo	Bajo

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

2.2 Búsqueda de información

Se investigó en libros, manuales, documentos científicos e información en internet para poder sustentar la información que se detalla en este documento.

2.3 Generación de Conceptos

2.3.1 Descomposición Funcional







La caja debe estar diseñada para proteger y colocar los componentes electrónicos de control. También se debe diseñar el sistema de enfriamiento para evitar el exceso de temperatura en los componentes

electrónicos durante su funcionamiento. Por lo tanto, se deben considerar estas dos funciones y analizarlas por separado.

2.3.2 Carta morfológica

La carta morfológica nos permitirá seleccionar entre varias alternativas, una idea para la implementación de la solución que recoja de mejor manera los requerimientos del cliente.

Tabla 2-2 Carta Morfológica

Función	Alternativa # 1	Alternativa # 2	Alternativa # 3
Tipo de Caja	 <p>Caja de Aluminio Fuente: (“DIY Electronics- Case”, s/f)</p>	 <p>Adaptación de CPU Fuente: (Danny, 2012)</p>	 <p>Caja de Acero Fuente: (“Basic Control Systems”, s/f)</p>
Tipo de enfriamiento	 <p>Ventilador Fuente: (“Compak Professional Coffee Grinders F10 Conic OD”, s/f)</p>	 <p>Enfriamiento por líquido Fuente: (Pop, s/f)</p>	 <p>Disipador de calor Fuente: (“Heatsink for Raspberry Pi”, s/f)</p>

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

2.4 Evaluación de conceptos

2.4.1 Tipo de Caja

Para discernir entre las alternativas tomadas en cuenta se definen los criterios que permitirán la selección de la mejor alternativa. Estos criterios son:

- Costo
- Peso
- Mantenimiento
- Versatilidad

2.4.1.1 Alternativa 1: Caja de Aluminio

Este tipo de caja se caracteriza por su facilidad de construcción ya que son láminas metálicas a las que se va dando forma y maquinando según sea el caso. Esta alternativa es buena para sistemas pequeños de control, con pocos componentes electrónicos. Es una alternativa de bajo costo, aunque no brinda mucha robustez al conjunto general de control.

2.4.1.2 Alternativa 2: Adaptación de CPU

La adaptación de un CPU para el soporte del sistema de control es una alternativa que busca aprovechar los recursos que han perdido su uso. Esta alternativa es llamativa debido a que cuenta con rejillas y adaptaciones para el sistema de enfriamiento, así como de compartimentos para distribuir ordenadamente los componentes electrónicos.

2.4.1.3 Alternativa 3: Caja de acero

Esta alternativa trata de asemejarse a los paneles eléctricos o cajas de medidor debido a que son cajas con buen acabado y da una imagen más llamativa al diseño. Se caracterizan por ser robustas, lo que es conveniente para evitar daños por descuidos.

2.4.1.4 Selección de la mejor alternativa: Tipo de caja

Para la selección de la mejor alternativa se procederá a comparar los criterios mediante una ponderación para visualizar el nivel de importancia de un criterio sobre otro. Para este propósito se definirá la ponderación de la siguiente manera:

- (0,1); si es menos importante
- (1); si es igual de importante
- (2); si es más importante

Tabla 2-3 Comparación de criterios

Selección de carcasa						
Criterios a evaluar	Costo	Peso	Mantenimiento	Versatilidad	Total	Ponderación
Costo	1	2	2	1	6	0,32
Peso	0,5	1	0,5	0,5	2,5	0,14
Mantenimiento	0,5	2	1	0,5	4	0,22
Versatilidad	1	2	2	1	6	0,32
Total					18,5	1

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Una vez que se ha hecho la comparación de criterios se realiza una matriz de decisión donde se calificará cada alternativa según una nueva ponderación:

- 1; Insatisfactorio
- 2; Satisfactorio
- 3; Muy satisfactorio

Tabla 2-4 Matriz de decisión

Criterios a evaluar / Alternativas		Caja de Aluminio		Adaptación de CPU		Caja de Acero	
Costo	0,32	3	0,96	3	0,96	2	0,64
Peso	0,14	3	0,42	2	0,28	2	0,28
Mantenimiento	0,22	3	0,66	2	0,44	3	0,66
Versatilidad	0,32	1	0,32	1	0,32	3	0,96
TOTAL		2,36		2,00		2,54	

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Como mejor alternativa resulto la caja de Acero. Esto se debe a que tiene mucha facilidad de limpieza y mantenimiento debido a que hay facilidad de acceso a la caja por medio de una puerta, mayor versatilidad que las demás debido a que se la fabrica de acuerdo a la forma que uno requiera, es ligeramente más pesada que las otras alternativas, pero eso es conveniente debido a que le da robustez al diseño, y el costo no muy elevado con respecto a las otras opciones.

2.4.2 Tipo de enfriamiento

Para discernir entre las alternativas tomadas en cuenta se definen los criterios que permitirán la selección de la mejor alternativa en el sistema de enfriamiento. Estos criterios son:

- Costo
- Tamaño
- Mantenimiento

2.4.2.1 Alternativa 1: Ventilador

Es una alternativa muy común en los sistemas de enfriamiento de componentes electrónicos debido a que permite que exista convección forzada, lo que ayuda mucho en la disipación de calor del sistema. Son relativamente baratos y la forma de alimentarse puede provenir directamente de la fuente que se vaya a utilizar, cuidando del voltaje y corriente de alimentación del ventilador.

2.4.2.2 Alternativa 2: Enfriamiento por líquido

Es una alternativa que ofrece alta eficiencia en los procesos de remoción de calor debido a que usan refrigerantes para este propósito, por lo que garantiza una temperatura del recinto baja para el buen funcionamiento de los componentes electrónicos. En esta alternativa se debe renovar el refrigerante una vez que haya perdido su capacidad refrigerativa, por lo que se debe aumentar el cuidado y mantenimiento de este sistema de enfriamiento.

2.4.2.3 Alternativa 3: Disipadores de calor

Esta alternativa es muy común para la disipación de calor de PCB's (Printed Circuit Board o tarjetas impresas), de los microprocesadores y de fuentes de calor muy altas. Es una alternativa de bajo costo, aunque su eficiencia y costo dependen de la forma del mismo.

2.4.2.4 Selección de la mejor alternativa: Tipo de caja

Para la selección de la mejor alternativa se procederá a comparar los criterios mediante una ponderación para visualizar el nivel de importancia de un criterio sobre otro. Para este propósito se definirá la ponderación de la siguiente manera:

- (0,1); si es menos importante
- (1); si es igual de importante
- (2); si es más importante

Tabla 2-5 Comparación de criterios

Selección de sistema de enfriamiento					
Criterios a evaluar	Costo	Tamaño	Mantenimiento	Total	Ponderación
Costo	1	1	2	4	0,40
Tamaño	1	1	2	4	0,40
Mantenimiento	0,5	0,5	1	2	0,20
Total				10	1,00

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Una vez que se ha hecho la comparación de criterios se realiza una matriz de decisión donde se calificará cada alternativa según una nueva ponderación:

- 1; Insatisfactorio
- 2; Satisfactorio
- 3; Muy satisfactorio

Tabla 2-6 Matriz de decisión

Criterios a evaluar / Alternativas		Ventilador		Enfriamiento por líquido		Disipadores de calor	
Costo	0,32	3	0,96	1	0,32	3	0,96
Tamaño	0,14	3	0,42	1	0,14	2	0,28
Mantenimiento	0,22	3	0,66	1	0,22	3	0,66
TOTAL		2,04		0,68		1,90	

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

La mejor alternativa seleccionada por la matriz de decisión fue la primera alternativa: Ventilador. Esta alternativa es de bajo costo, aunque puede ser semejante al costo de un disipador de calor; pero en este caso no se sabría aun las dimensiones del disipador, por lo que tampoco se sabría en cuánto cambiaría su precio. Su tamaño es relativamente pequeño y es fácil de acoplar en una estructura. Se puede utilizar tanto para ingresar aire frío como para extraer el aire caliente. El mantenimiento y limpieza al que se debe someter es relativamente sencillo. No obstante, esta matriz nos indica la mejor alternativa; sin embargo, es posible tener una mejor eficiencia si se combinan ventiladores y disipadores de calor en el sistema. Esto se

analizará si es conveniente de acuerdo a los resultados de los cálculos que se van a realizar en el siguiente capítulo.

2.5 Selección del Diseño

Como resultado de las selecciones realizadas con las matrices de decisión, se obtienen las siguientes características de la solución:

- Tipo de Caja: Caja de acero
- Tipo de sistema de enfriamiento: Ventilador

2.6 Diseño Conceptual

El diseño conceptual viene a ser el resultado de las selecciones realizadas para cada ámbito del diseño requerido. Por lo tanto, un esquema del diseño conceptual se muestra a continuación:

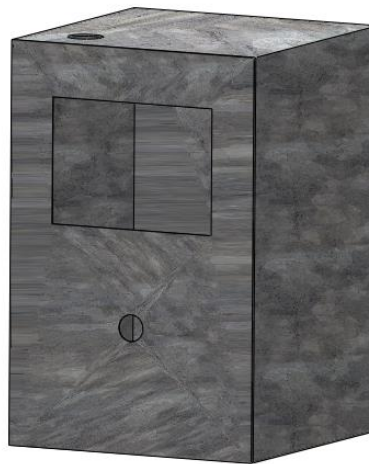


Figura 2-2 Diseño conceptual

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

2.7 Configuración del Diseño

2.7.1 Caja de soporte para elementos de control

Para el diseño de la caja de soporte se tendrá en cuenta las normas NEMA 250 (2003), UL 50, IEC 60529 y NTE INEN 2960, que se refieren a los criterios básicos del diseño de cajas o tableros de control. También se utilizará la norma IEC60 068-2-27 que se refiere a la protección de la caja ante la presencia de una aceleración de 15g para dispositivos de control.

2.7.1.1 Selección de material

El acero galvanizado es el material más frecuentemente utilizado en la industria ecuatoriana para este tipo de cajas. Las ventajas de usar plancha de acero galvanizado parten desde facilidad de manufactura, costos bajos de adquisición, ofrecen buena resistencia ante varios tipos de cargas/esfuerzos, hasta las propiedades del material de aceptar contacto de sustancias químicas que están presentes en el presente proyecto durante el uso del equipo. Se escogió una plancha de acero galvanizado (ASTM A653) que cuenta con las siguientes propiedades:

Tabla 2-7 Propiedades mecánicas del acero galvanizado

Propiedades Mecánicas	Métrico	Inglés	Comentario
Módulo de Elasticidad	200 GPa	29000 ksi	Típico para acero al carbono
Módulo de compresibilidad	160 GPa	23200 ksi	Típico para acero
Coefficiente de Poisson	0.29	0.29	Típico para acero al carbono
Módulo de cizallamiento	80.0 GPa	11600 ksi	Típico para acero
Límite elástico (Sy)	207 MPa	30 ksi	Típico para acero

Fuente: ("ASTM A653 Galvanized Steel", s/f)

La plancha de acero inoxidable tendrá un espesor de 1.5 mm y el proceso de fabricación de la caja consiste en 5 pasos:

1. Cortar la plancha con la geometría deseada.
2. Doblar la plancha para generar los lados de la caja.

3. Soldar para la unión de los lados.
4. Realizar las perforaciones necesarias para la entrada y salida de cables y para otros elementos pertinentes.
5. Uso de pintura epóxica para la superficie de la caja.

2.7.1.2 Análisis de aceleración

Para el análisis de aceleración se realizó una simulación en ANSYS®, versión 16.0; donde se configuraron las condiciones en las que se modela la caja para soportar una aceleración equivalente a 15g; condición requerida para este tipo de elementos sometidos a análisis estático según la norma IEC 60068-2-27. Específicamente, simula el transporte por vía terrestre y la manipulación del tablero de control durante su uso. La simulación se la elaboró en el ambiente de Workbench (Mariam, 2010).

Como primer paso se procedió a definir el modelo al que se aplicará la simulación para el presente análisis. En la Figura 2-3 se muestra el modelo en 3D.

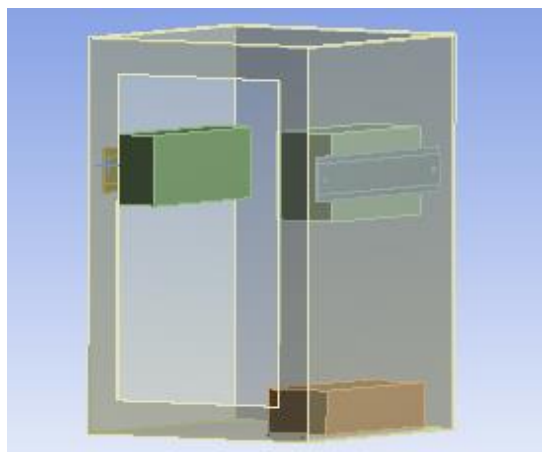


Figura 2-3 Modelo 3D del tablero de control con los elementos

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

A continuación, se definen los materiales para cada elemento y las condiciones de contacto entre los componentes para simular las juntas empernadas en cada conjunto. En las figuras 2-4 y 2-5 se ve un pequeño proceso para este procedimiento.

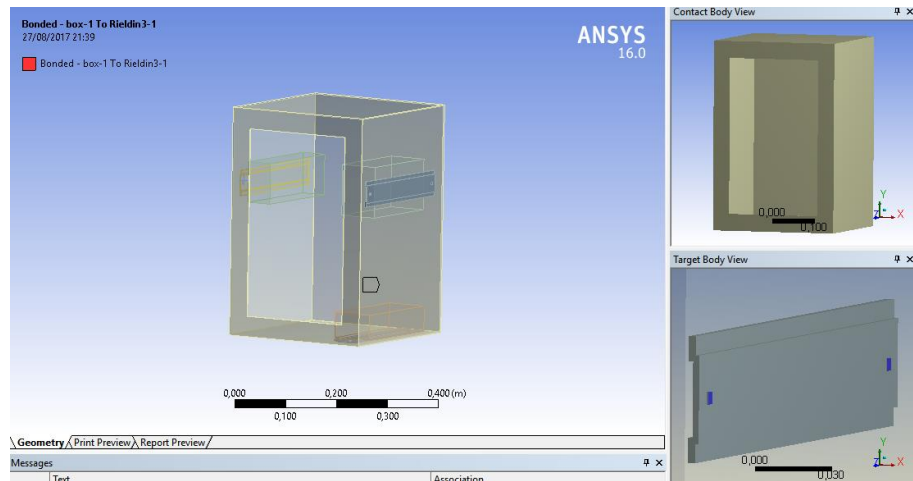


Figura 2-4 Contacto definido entre el riel DIN y la caja

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

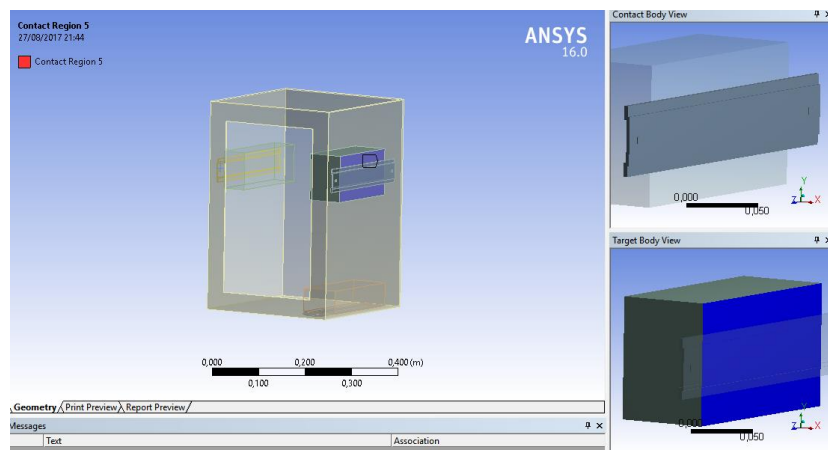


Figura 2-5 Contacto definido entre el elemento y el riel DIN

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Se procede a crear el mallado y a colocar los apoyos de la caja y la aceleración de 15g (147.15 m/s^2). Véanse las figuras 2-6 y 2-7.

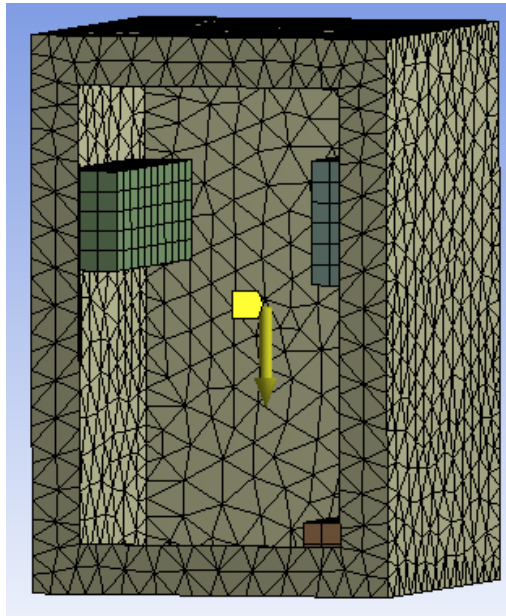


Figura 2-6 Mallado y disposición de la aceleración de 15g

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

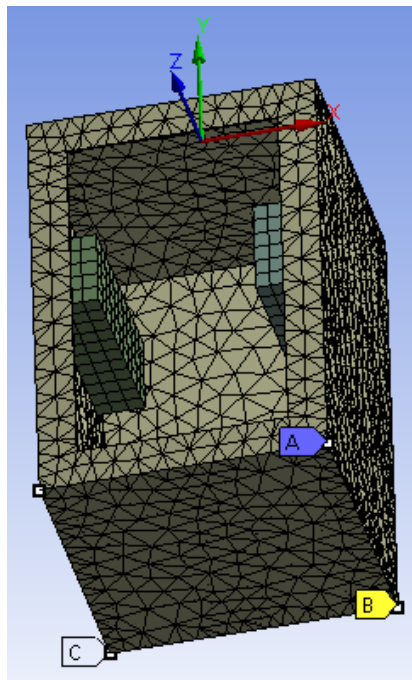


Figura 2-7 Apoyos fijos de la caja

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Como se observa en la Figura 2-7, se colocaron 4 restricciones de movimiento en los nodos de las esquinas de la base de la caja. El nodo A tiene una restricción en todos los grados de libertad. El nodo C tiene una restricción en la dirección del eje Y (eje vertical, color verde) y en la dirección del eje Z (eje de profundidad de la caja, color azul). Los otros dos nodos solo tienen restricción en el eje Y (eje vertical, color verde).

Por último, se definen los resultados que se desean obtener (deformación total, esfuerzos de Von Mises, y fuerzas de corte en los pernos) y se ejecuta el solucionador para poder ejecutar los cálculos correspondientes y mostrar los resultados.

Con el resultado que se obtenga de la simulación se deberá calcular la dimensión del perno que se debe seleccionar para la sujeción de los componentes de control en la caja. A continuación, se detallan las ecuaciones necesarias para la selección de los pernos de sujeción.

$$\tau = \frac{F_y}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad \text{Ec. 2-1}$$

La ecuación 2-1 define el esfuerzo cortante, donde τ es el esfuerzo cortante en el perno, F_y es la fuerza cortante y d es el diámetro nominal del perno.

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad \text{Ec. 2-2}$$

La ecuación 2-2 nos muestra el factor de seguridad para el perno. Se recomienda que este valor sea mayor o igual a 2.

Se conoce además que:

$$S_{sy} = \frac{S_y}{2} \quad \text{Ec. 2-3}$$

Como estamos haciendo un análisis donde el material a tratar es acero se tiene que el $S_y = 207 \text{ MPa}$ (Véase Tabla 2-7).

Por lo tanto, el diámetro queda definido por la ecuación 2-4.

$$d = \left(\frac{16F_y}{\pi S_y} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 2-4}$$

A continuación, se adjunta la tabla de rosca métrica para la selección del perno.

Tabla 2-8 Dimensiones de los pernos del estándar métrico ISO

Diámetro mayor d (mm)	Cuerdas gruesas			Cuerdas finas		
	Paso p mm	Diámetro menor d_r (mm)	Área de esfuerzo por tensión A_t (mm ²)	Paso p mm	Diámetro menor d_r (mm)	Área de esfuerzo por tensión A_t (mm ²)
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39

Fuente: (Norton, 2014)

2.7.1.3 Diseño final de caja

Como diseño final se presentan las Figuras 2-8 y 2-9; donde se puede ver la caja con sus respectivas aberturas (louvers) para la entrada y salida de aire. El plano de la caja se encuentra en Apéndice C.

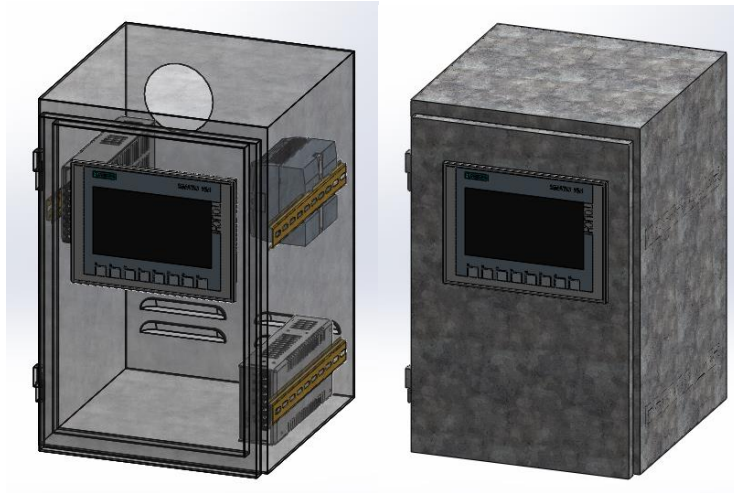


Figura 2-8 Parte frontal de la caja

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

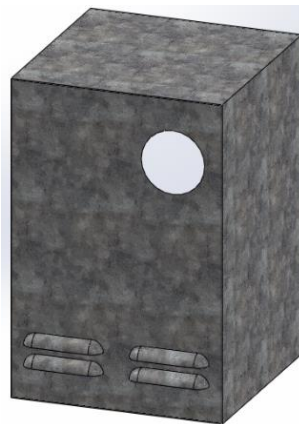


Figura 2-9 Parte trasera de la caja

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

2.7.2 Sistema de enfriamiento

En la matriz de decisión del sistema de enfriamiento (Tabla 2-6) se determinó que el uso de un ventilador puede ser una alternativa de solución para mantener los elementos en sus temperaturas normales de trabajo. Sin embargo, debemos primero analizar condiciones de los elementos cuando están trabajando a su máximo potencial en dos situaciones posibles antes de analizar el sistema con el ventilador incluido. Estas dos situaciones son:

- Análisis de caja sellada; que implica un análisis de la temperatura de un aire interno que no tendrá posibilidad de interactuar con el aire fuera de la caja.
- Análisis de convección natural; donde se analiza la temperatura de un aire dentro de la caja que sí tendrá posibilidad de entrar y salir de la caja.

Los resultados de estos análisis serán comparados con las simulaciones de las mismas situaciones en el software denominado Solidworks, con un complemento llamado Simulación de Flujo.

2.7.2.1 Análisis de caja sellada

Para el análisis de caja sellada se modela la situación como un circuito térmico. Este modelo se encuentra descrito con más detalle en el libro “Thermal Computations for Electronic Systems and Components; Ed. 2001”, de donde se realizaron las consultas para la elaboración del presente análisis.

Las consideraciones para este análisis son:

- Se omiten las resistencias térmicas de contacto y las de radiación porque no contribuyen significativamente en el análisis. Por lo tanto, sólo existirán resistencias térmicas de convección.
- Dado que la caja diseñada es un prisma rectangular con base cuadrada, las resistencias térmicas del fluido, tanto dentro como

fuera de la caja, serán iguales en los 4 lados laterales de la caja. La misma igualdad ocurrirá con los lados superior e inferior de la caja.

- La temperatura ambiente será de 25°C
- El calor generado corresponderá a la suma de las potencias disipadas de cada elemento considerado (45W).
- La caja tiene dimensiones $L \times W \times H$, donde L es la profundidad; W es el ancho y H es la altura. Los valores de cada dimensión son: $L = W = 300mm = 11.81in$; $H = 450mm = 17.72in$.

Los componentes electrónicos que formarán parte del análisis térmico serán 5 que son los componentes más críticos del sistema de control. A continuación, en la Tabla 2-9 se detallan los elementos con sus requerimientos de temperatura.

Tabla 2-9 Temperaturas máximas y mínimas de los componentes críticos del sistema de control

Componente	Temp. Máxima de operación (°C)	Temp. mínima de operación (°C)	Calor disipado (W)
PLC	60	50	11
Switch	60	50	2
Módulo	60	50	2
Fuente 1	65	58	15
Fuente 2	65	58	15

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Las variables que estarán presentes son:

- Temperatura ambiente, T_A
- Temperatura de la pared superior e inferior, T_{W1}
- Temperatura de las caras laterales, T_{W2}

- Temperatura del aire al interior de la caja, T_{air}
- Calor generado por los elementos electrónicos, Q
- Resistencia térmica de convección en el interior de la caja en las caras superior e inferior, R_{CI1}
- Resistencia térmica de convección en el exterior de la caja en las caras superior e inferior, R_{CE1}
- Resistencia térmica de convección en el interior de la caja en las caras laterales, R_{CI2}
- Resistencia térmica de convección en el exterior de la caja en las caras laterales, R_{CE2}

En la Figura 2-10 se muestra un esquema de las resistencias térmicas en la caja. Analizando el circuito, podemos darnos cuenta que las líneas de circuito siempre empiezan desde afuera con T_A y terminan en un solo punto donde esta T_{air} . Significa por tanto que el análisis de un lado de la caja va a estar en paralelo con las demás caras de la caja lo cual reduce el circuito de manera considerable. A esto se debe añadir que el análisis de una cara lateral de la caja será igual a las demás caras laterales, por lo que resultará una sola resistencia equivalente exterior e interior de las paredes laterales. Lo mismo ocurrirá entre las caras superior e inferior. La figura 2-12 muestra el circuito reducido diferenciando aun entre caras laterales y superior e inferior. Por último, la figura 2-13 muestra el circuito reducido a una sola resistencia equivalente térmica de convección.

Al reducir el circuito se hacen varias resistencias equivalentes. Para las resistencias térmicas de convección en el interior de la caja en las caras superior e inferior

$$\frac{1}{R_{CI}} + \frac{1}{R_{CI}} = \frac{2}{R_{CI1}} \quad \text{Ec. 2-5}$$

Para las resistencias térmicas de convección en el exterior de la caja en las caras superior e inferior

$$\frac{1}{R_{CE}} + \frac{1}{R_{CE}} = \frac{2}{R_{CE_1}} \quad \text{Ec. 2-6}$$

Para las resistencias térmicas de convección en el interior de la caja en las caras superior e inferior

$$\frac{1}{R_{CI}} + \frac{1}{R_{CI}} = \frac{2}{R_{CI_2}} \quad \text{Ec. 2-7}$$

Para las resistencias térmicas de convección en el exterior de la caja en las caras superior e inferior

$$\frac{1}{R_{CE}} + \frac{1}{R_{CE}} = \frac{2}{R_{CE_2}} \quad \text{Ec. 2-8}$$

Con estas reducciones obtenemos la Figura 2-11

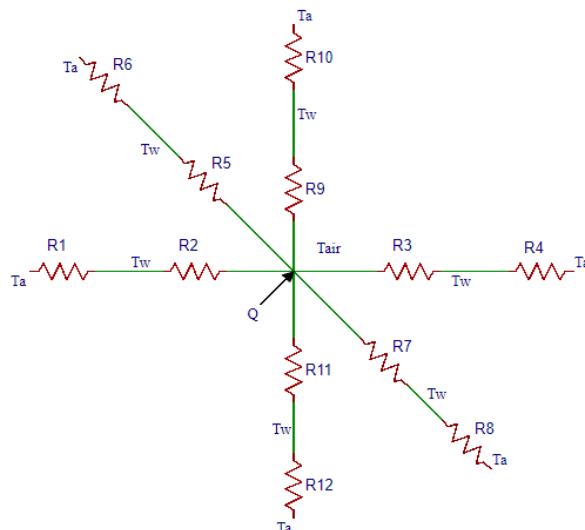


Figura 2-10 Circuito térmico de la caja (tridimensional)

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

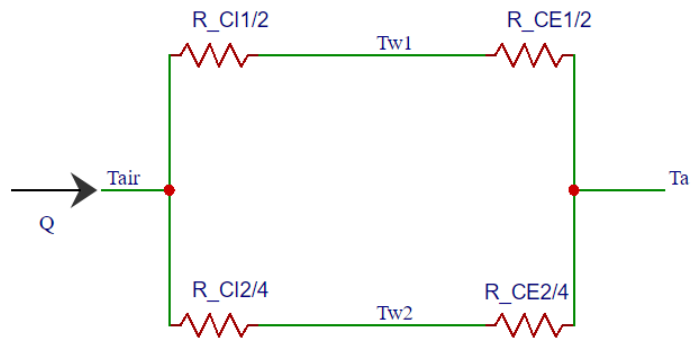


Figura 2-11 Circuito reducido 1

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Si analizamos solo las caras laterales, tenemos que todas tendrán el mismo T_w (según la Figura 2-12 será T_{w2}), lo que implica que R_{C12} es igual a R_{CE2} . Lo mismo ocurre para las caras superior e inferior. Haciendo la respectiva reducción se obtiene la Figura 2-5.

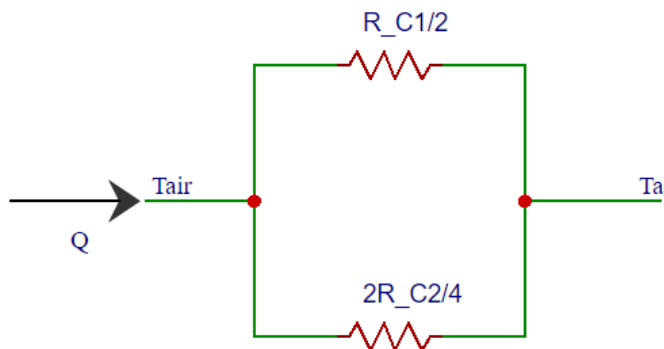


Figura 2-12 Circuito reducido 2

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Figura 2-5, ambas resistencias están en el mismo intervalo de temperatura, por lo que se puede sacar una resistencia equivalente de ellas. Esto es lo que se observa en la Figura 2-6.

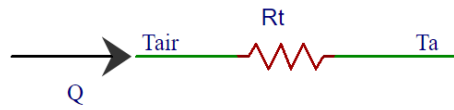


Figura 2-13 Circuito equivalente final

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Donde,

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{2 \frac{R_{C_1}}{2}} + \frac{1}{2 \frac{R_{C_2}}{4}} = \frac{1}{R_{C_1}} + \frac{2}{R_{C_2}} \quad \text{Ec. 2-9}$$

$$R_T = \frac{R_{C_1} R_{C_2}}{2R_{C_1} + R_{C_2}} \quad \text{Ec. 2-10}$$

Sabemos por el análisis anterior que $T_{air} - T_W = \frac{T_{air} - T_A}{2}$. Esta relación nos ayudará en cálculos posteriores.

La resistencia térmica es igual a la siguiente expresión:

$$R_{C_1} = \frac{1}{hA_s} = \frac{1}{0.0024 \left(\frac{T_{air} - T_W}{L} \right)^{0.25} LW} \quad \text{Ec. 2-11}$$

$$R_{C_1} = \frac{1}{0.0024 LW \left(\frac{T_{air} - T_A}{2L} \right)^{0.25}} \quad \text{Ec. 2-12}$$

$$R_{C_1} = \frac{6.59}{(T_{air} - T_A)^{0.25}} \quad \text{Ec. 2-13}$$

De igual forma con R_{C_2}

$$R_{C_2} = \frac{1}{0.0024HW \left(\frac{T_{air} - T_A}{2H} \right)^{0.25}} \quad Ec. 2-14$$

$$R_{C_2} = \frac{4.86}{(T_{air} - T_A)^{0.25}} \quad Ec. 2-15$$

Por lo tanto:

$$R_T = \frac{1.96}{(T_{air} - T_A)^{0.25}} \quad Ec. 2-16$$

Se conoce que:

$$T_{air} - T_A = Q \times R_T \quad Ec. 2-17$$

Por lo tanto:

$$T_{air} - T_A = (1.96 Q)^{\frac{1}{1.25}} \quad Ec. 2-18$$

Por tanto, se obtiene que:

$$T_{air} - T_A = 36^{\circ}\text{C} \quad Ec. 2-19$$

Eso representa una temperatura del aire dentro de la caja de 61°C.

2.7.2.2 Análisis de convección natural

Para este análisis se tendrá la misma resistencia térmica, pero se le agregará una resistencia debido al flujo de aire que existirá por convección natural. El nuevo circuito térmico se muestra en la Figura 2-14.

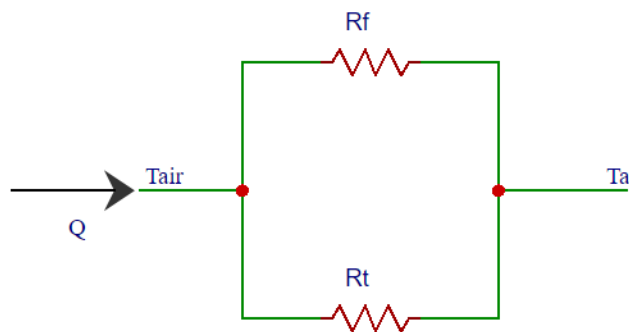


Figura 2-14 Circuito térmico considerando convección natural

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

La resistencia del fluido es una resistencia equivalente que depende de varios factores, tales como la trayectoria del fluido, el área y la geometría de las entradas y salidas del aire, el flujo volumétrico de aire, entre otros.

De acuerdo a todas estas consideraciones se analizará las resistencias que implica esta resistencia del fluido. Para el cálculo de cada resistencia que estará presente dentro de la resistencia equivalente del fluido se utilizó la Figura 2-15 que especifica ciertas fórmulas para la resistencia del flujo de aire ante determinadas situaciones.


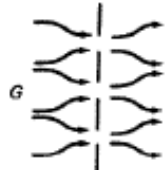
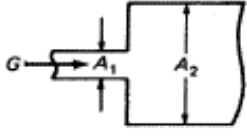
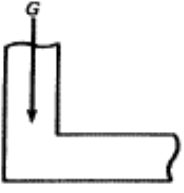
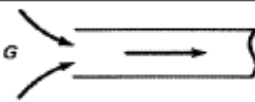
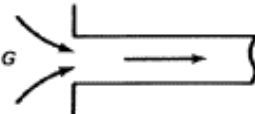
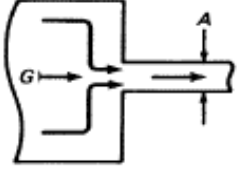
(a)		Basic element	R
(b)		Perforated or slotted plate	$2.4 \times 10^{-3}/A^2$ Recommended is $R = 2.0 \times 10^{-3}/A^2$
(c)		Sudden expansion	$1.290 \times 10^{-3} \left[\frac{1}{A_1} \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right) \right]^2$
(d)		Sharp cornered turn	$1.81 \times 10^{-3}/A^2$
(e)		Not recommended Contraction	$1.2 \times 10^{-3}/A^2$
(f)		Recommended Contraction	$0.63 \times 10^{-3}/A^2$
(g)		Recommended Contraction	$0.63 \times 10^{-3}/A^2$

Figura 2-15 Fórmulas para la resistencia del flujo de aire

Fuente: Thermal Computations for Electronic Systems, 2001

En base al diseño realizado de la caja se considerarán 7 resistencias. La Figura 2-16 nos muestra un circuito con estas resistencias.

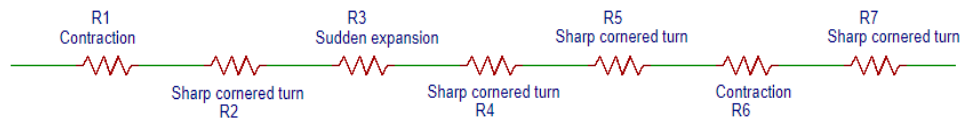


Figura 2-16 Resistencias debido a la trayectoria del flujo

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

A continuación, se describe el cálculo de cada resistencia.

Para R_1

$$R_1 = \frac{0.63 \times 10^{-3}}{A_1^2} \quad \text{Ec. 2-20}$$

$$A_1 = \Sigma(A_{\text{entrada de fluido}}) = 5.58 \text{ in}^2 \quad \text{Ec. 2-21}$$

$$\Rightarrow R_1 = 2.02 \times 10^{-5} \quad \text{Ec. 2-22}$$

Para R_2

$$R_2 = \frac{1.81 \times 10^{-3}}{A_2^2} \quad \text{Ec. 2-23}$$

$$A_2 = A_1 = 5.58 \text{ in}^2 \quad \text{Ec. 2-24}$$

$$\Rightarrow R_2 = 5.81 \times 10^{-5} \quad \text{Ec. 2-25}$$

Para R_3

$$R_3 = 1.29 \times 10^{-3} \left[\frac{1}{A_2} \left(1 - \frac{A_2}{A_3} \right) \right] \quad \text{Ec. 2-26}$$

$$A_3 = A_{f_{caja}} - A_{f_{elementos}} = 13.57in^2 \quad Ec. 2-27$$

Donde $A_{f_{caja}}$ es un rectángulo de base igual a W y altura de 2.3in; y $A_{f_{elementos}}$ es un rectángulo de base $W/2$ y altura 2.3in.

$$\Rightarrow R_3 = 1.44 \times 10^{-5} \quad Ec. 2-28$$

Para R_4

$$R_4 = \frac{1.81 \times 10^{-3}}{A_4^2} \quad Ec. 2-29$$

$$A_4 = A_3 = 13.57in^2 \quad Ec. 2-30$$

$$\Rightarrow R_4 = 9.83 \times 10^{-6} \quad Ec. 2-31$$

Para R_5

$$R_5 = \frac{1.81 \times 10^{-3}}{A_5^2} \quad Ec. 2-32$$

$$A_5 = A_3 = 13.57in^2 \quad Ec. 2-33$$

$$\Rightarrow R_5 = 9.83 \times 10^{-6} \quad Ec. 2-34$$

Para R_6

$$R_6 = \frac{0.63 \times 10^{-3}}{A_6^2} \quad Ec. 2-35$$

$$A_6 = A_1 = 5.58in^2 \quad Ec. 2-36$$

$$\Rightarrow R_6 = 2.02 \times 10^{-5} \quad \text{Ec. 2-37}$$

Para R_7

$$R_7 = \frac{1.81 \times 10^{-3}}{A_7^2} \quad \text{Ec. 2-38}$$

$$A_7 = A_1 = 5.58 \text{ in}^2 \quad \text{Ec. 2-39}$$

$$\Rightarrow R_7 = 5.81 \times 10^{-5} \quad \text{Ec. 2-40}$$

Por lo tanto:

$$R_f = \sum_{i=1}^7 R_i \quad \text{Ec. 2-41}$$

$$R_f = 1.91 \times 10^{-4} \quad \text{Ec. 2-42}$$

Para el caudal (G) se usa la siguiente relación:

$$G = 1.53 \times 10^{-2} \left(\frac{Q_d d}{R_f} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 2-43}$$

Donde d es la longitud de los elementos que van a sufrir transferencia de calor por convección ($d = 5.91 \text{ in} = 150 \text{ mm}$).

Por tanto:

$$G = 0.4803 Q_d^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 2-44}$$

Se conoce que:

$$R_f = \frac{T_{air} - T_A}{Q_d} \quad Ec. 2-45$$

Además:

$$T_{air} - T_A = 1.76 \frac{Q_d}{G} \quad Ec. 2-46$$

Por tanto:

$$R_f = \frac{1.76}{G} \quad Ec. 2-47$$

Lo que implica también:

$$Q_d = \frac{(T_{air} - T_A)G}{1.76} \quad Ec. 2-48$$

A continuación, se muestran las iteraciones respectivas para hallar $T_{air} - T_A$ en este problema de convección natural.

Tabla 2-10 Iteraciones para el cálculo de $T_{air} - T_A$ de los análisis de caja sellada y convección natural

Iter	Q_d	G	R_f	$T_W - T_A$	R_T	R_{Total}	$T_{air} - T_A$
1	0	0	Inf	22.00	0.761	0.761	34.24
2	0	0	Inf	17.12	0.810	0.810	36.46
3	0	0	Inf	18.23	0.798	0.798	35.89
4	0	0	Inf	17.94	0.801	0.801	36.03
5	11.25	1.076	1.635	17.94	0.801	0.538	24.19
6	14.79	1.179	1.493	12.10	0.884	0.555	24.98
7	16.73	1.229	1.433	12.49	0.877	0.544	24.47
8	17.09	1.237	1.423	12.24	0.881	0.544	24.49

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Para el cálculo se asumió primero una diferencia de temperatura entre la pared y el ambiente de 22°C. Para caja sellada el caudal es cero. Para el análisis de Q_d se recomienda comenzar con la cuarta parte del calor disipado por los componentes para que el proceso de iteración no sea muy largo.

Se consigue una diferencia de temperatura entre el fluido externo y el interno de la caja de 24.5°C. Esto implica una temperatura de fluido de 49.5°C.

2.7.2.3 Simulación en Solidworks del análisis de caja sellada

Se procedió a realizar la simulación en el software Solidworks para comparar los resultados que se obtengan con los obtenidos en el análisis analítico. Se procedió a iniciar el complemento Simulación de Flujo de Solidworks para poder realizar las simulaciones.

Para este análisis se interpretaron las consideraciones descritas anteriormente para que el software comprenda las condiciones sobre las cuales se desea realizar la simulación.

Se dispusieron todos los elementos dentro de una caja sin ningún tipo de abertura y se colocó la potencia disipada de cada uno de los elementos.

2.7.2.4 Simulación en Solidworks del análisis de convección natural

Para el siguiente análisis se realizaron los pasos de manera similar al apartado anterior; con la diferencia de la caja que ahora presenta las aberturas con las que fue diseñada.

2.7.3 Datos experimentales de la temperatura

2.7.3.1 Temperatura del aire dentro del tablero de control

Para corroborar los datos obtenidos en el análisis de convección natural del tablero electrónico, se tomaron datos con un sensor de temperatura controlado por Arduino. Posteriormente se debe comparar estos datos con los resultados En la Tabla 2-11 se detallan los datos.

Tabla 2-11 Datos de temperatura experimentales

Temperatura tomada en el centro del tablero de control	34°C
Temperatura promedio tomada cerca la fuente	42°C
Temperatura promedio tomada cerca del PLC	46°C
Temperatura tomada en el exterior del tablero de control	25°C

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Análisis de resultados

En este apartado se revisarán los resultados obtenidos para el respectivo análisis de cada uno de ellos. Se revisarán los resultados obtenidos del ensayo de impacto para la caja. También se analizarán los resultados de la temperatura del aire dentro de la caja en las dos situaciones planteadas y se compararán estos con las obtenidas en las simulaciones de las mismas situaciones.

3.1.1 Resultados del ensayo de impacto de la caja

Se obtuvieron 2 figuras que nos muestran los resultados del análisis.

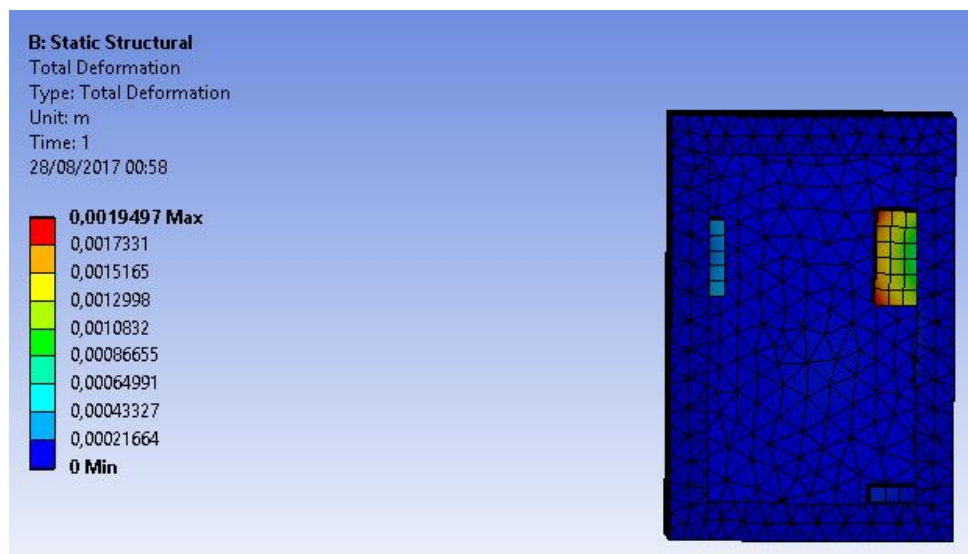


Figura 3-1 Deformación total

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

En la Figura 3-1 se muestra la deformación total que sufre el equipo cuando está sometido a una aceleración de 15 veces la gravedad (Deformación total de aproximadamente 2mm). Se observa que la mayor deformación se encuentra en el sistema de control de la caja (conjunto formado por el PLC,

un switch, y dos módulos). Esta deformación es aceptable para el modelo debido a que es relativamente pequeña.

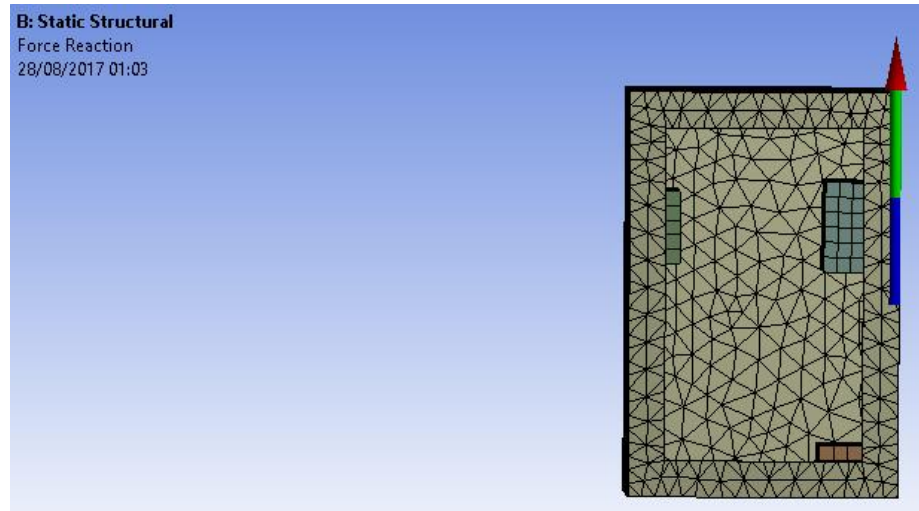


Figura 3-2 Fuerza de corte en el perno más crítico

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

En la Figura 3-2 se muestra la dirección de la fuerza cortante que se ejerce sobre el perno más crítico ubicado en el riel DIN de la parte de control. La fuerza cortante tuvo una magnitud de **1600.6N** en la dirección Y positiva. Con este resultado se procede a realizar el cálculo del diámetro del perno y se encuentra que es de **6.3mm**; por lo que se seleccionaron pernos M8 para la sujeción de los componentes del sistema de control.

Se debe resaltar que estos resultados corresponden a una situación en la que todos los componentes están sujetos debidamente, por lo que se debe tener en cuenta este detalle al momento de ensamblar los equipos.

3.1.2 Resultados del análisis de temperatura del aire en caja sellada

De acuerdo a los consideraciones y cálculos realizados en el capítulo anterior se encontró que la diferencia de temperatura entre el aire fuera con el aire dentro de la caja fue de 36°C; lo que implica que la **temperatura del aire dentro de la caja sellada es de 61°C**. Esta temperatura no es

conveniente para los elementos ya que la temperatura máxima de operación del elemento más crítico es de 60°C.

Comparando este resultado con el obtenido mediante la simulación en Solidworks, podemos notar que se llega a un resultado casi similar. En la Figura 3-3 se muestra la **temperatura máxima del aire dentro de la caja sellada: 58.1°C**.

Se observa una **diferencia de temperatura de 2.9°C** entre la temperatura obtenida en el cálculo analítico y la obtenida por medio de la simulación. Se considera, por tanto, que el modelo analítico es una buena aproximación; a pesar que en dicho modelo se considera un solo cuerpo que emite la potencia disipada total del conjunto de elementos que se hallan en el interior de la caja.

Se puede apreciar en la Figura 3-3 como el fluido externo comienza con una temperatura de 25°C; pero cuando se acerca a los sectores de las paredes de la caja donde se encuentran los elementos, se puede notar que la temperatura del aire exterior se eleva hasta aproximadamente 33.27°C; lo cual indica que se está disipando calor por medio de las paredes.

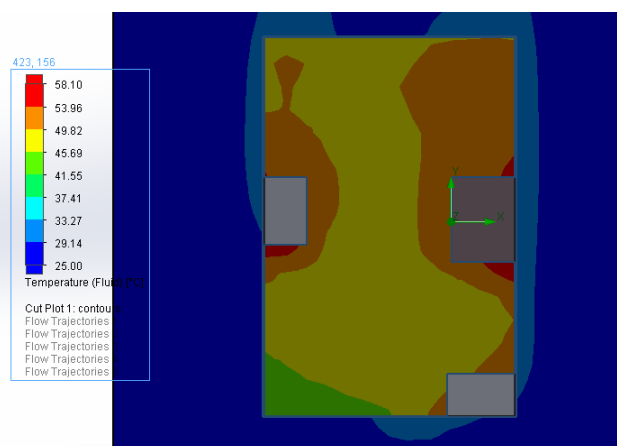


Figura 3-3 Plano de corte de la caja paralelo a cara trasera

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

En la Figura 3-4 se puede apreciar las líneas de flujo de aire en el interior de la caja cerrada. En este caso hay un flujo de aire en el interior debido al cambio de densidad del aire que ocurrirá a medida que los elementos dentro de la caja empiecen a aumentar de temperatura.

Se aprecia justamente que el flujo de aire que se encuentra más cerca de los elementos tiene una temperatura más elevada que el flujo de aire que se encuentra en la parte inferior de la caja. Podemos decir que en la parte inferior se encuentra el aire más frío, mientras que en la zona central donde se encuentran los elementos, el aire se encuentra a mayor temperatura. Las fuentes (cuerpos de color gris-transparente) son las que más calor generan (15W), por lo que se puede ver mayor temperatura por sus alrededores.

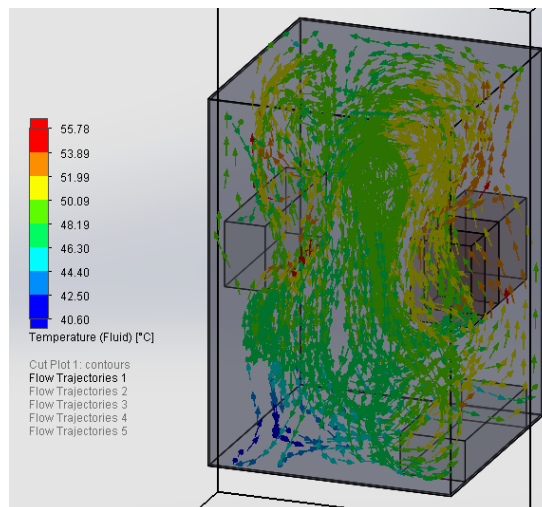


Figura 3-4 Líneas de fluido dentro de la caja sellada

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

La Figura 3-5 muestra el flujo de aire en el exterior de la caja. Se puede observar como empieza desde abajo frío; a medida que sube por las paredes laterales va aumentando de temperatura; para que finalice con menor temperatura. Se aprecia que la temperatura máxima que alcanza el flujo de aire en el exterior de la caja es de aproximadamente 33.37°C.

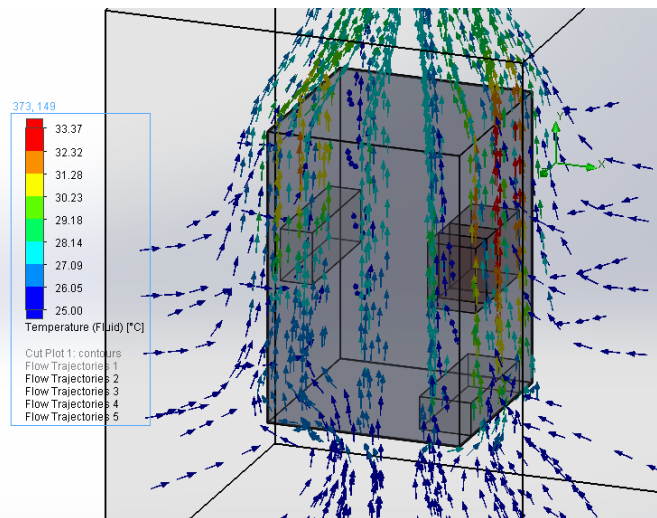


Figura 3-5 Líneas de flujo en la parte exterior de la caja sellada

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

3.1.3 Resultados del análisis de temperatura del aire en convección natural

Para la convección natural dentro de la caja se obtuvo una diferencia de temperatura entre el aire exterior y el aire interior de la caja de 24.5°C . Esto implica que la **temperatura del aire dentro de la caja cuando hay convección natural es de 49.5°C** . Este resultado es más aceptable para los elementos dentro de la caja porque hay una diferencia de 10.5°C con respecto a la temperatura máxima del elemento más crítico.

Al comparar este resultado con lo obtenido en el modelo simulado en Solidworks se puede verificar que los resultados son muy similares.

En la simulación de la convección natural se obtuvo una temperatura máxima de aproximadamente 49.3°C , temperatura que alcanza el aire cuando está cerca de los componentes de control (véase Figura 3-6).

Como se puede observar, **la diferencia entre el resultado obtenido en el modelo analítico y la simulación en Solidworks es de 0.2°C** ; lo que representa que el modelo analítico es satisfactorio para este problema.

Al observar la Figura 3-6 nos podemos dar cuenta que, en el interior de la caja, el aire se encontrará más caliente en los alrededores de los componentes electrónicos. Podemos observar que en la base se puede encontrar aire a menor temperatura y, a medida que se recorre la caja verticalmente hacia arriba, la temperatura va en aumento.

También se puede observar las variaciones de la temperatura del aire fuera de la caja. Si nos fijamos en los alrededores de los elementos, podemos verificar cómo la temperatura del aire aumenta por la transferencia de calor por parte de los componentes electrónicos.

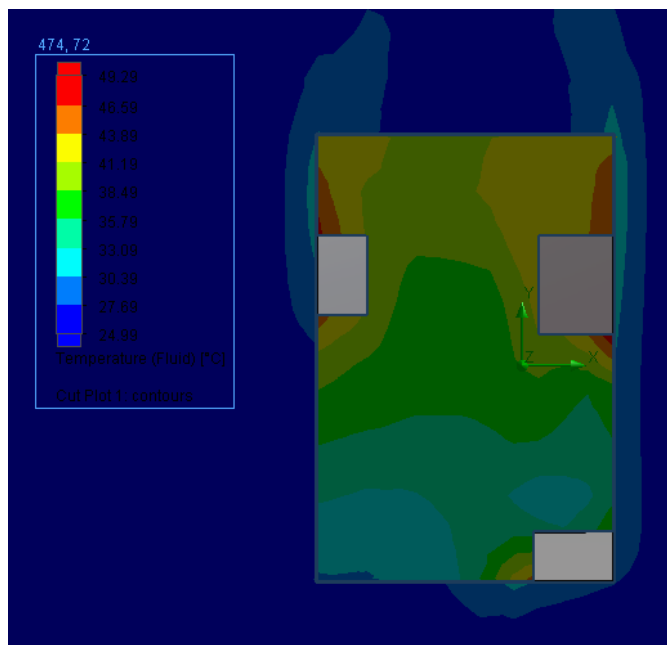


Figura 3-6 Plano de corte de la caja paralelo a cara trasera

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

En la Figura 3-7, se pueden observar las líneas de flujo por dentro y por fuera de la caja.

Al analizar la trayectoria de las líneas de flujo de aire, nos podemos dar cuenta del recorrido que hace desde la parte inferior donde entra el aire con temperatura de 25°C por medio de las aberturas realizadas en la caja (louvers). Siguiendo su trayectoria, el aire recorre la caja pasando por los

componentes electrónicos, donde se observa cómo va aumentando la temperatura gradualmente. Finalmente, el aire busca salir de la caja por la parte superior trasera de la caja para regresar nuevamente al exterior de la caja. En el modelo analítico se consideró una trayectoria muy similar a la que se acaba de describir, cuando se elegían las diferentes formas que el aire iba a tomar cuando ingrese a la caja hasta cuando sale de ella.

Solidworks presenta un detalle más real con respecto a la trayectoria del fluido, factor que influye en el resultado final. Como se puede observar, la Figura 3-7 muestra un máximo de temperatura de 43.44°C debido a que marca la temperatura por donde pasan las líneas de flujo graficadas. Pero, como se pudo ver en la Figura 3-7, la temperatura máxima es de 49.3°C.

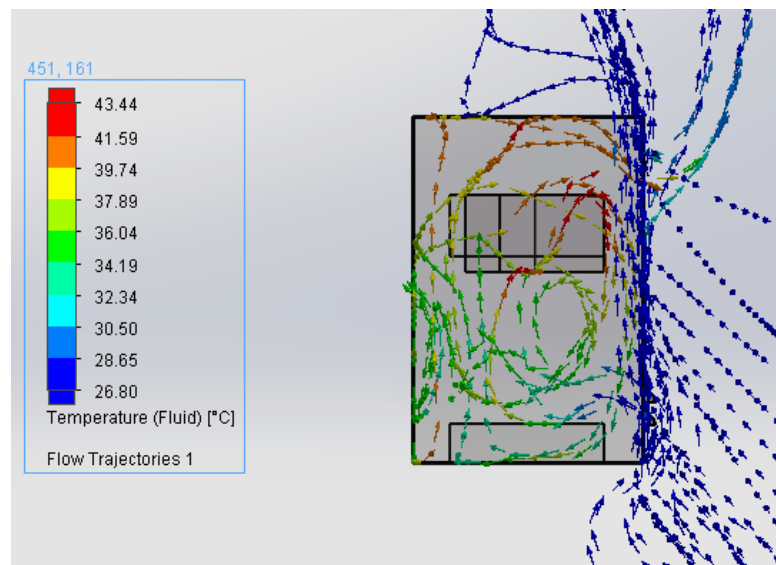


Figura 3-7 Líneas de flujo en la parte exterior de la caja sellada

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

Por último, se puede comprobar que el error entre los datos experimentales y los resultados obtenidos en la simulación es relativamente pequeño (**1.5% de error**).

3.2 Análisis de Costos

Para el análisis de costos del Biorreactor rediseñado se toman los costos ya analizados en el documento de tesis denominado “Diseño de un biorreactor a escala de laboratorio y su sistema de control”, y del cual, el presente proyecto es la continuación para la mejora de la parte de control.

Se presentan los costos de la estructura del equipo en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Costos de estructura del Biorreactor

Item	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	1	Tanque SAE 304 – 0.28 m x 0.26 m	\$ 120.00	\$ 120.00
2	1	Eje de transmisión SAE 304 - \varnothing 16 mm x 360 mm	\$ 30.00	\$ 30.00
3	1	Impulsor SAE 304 - \varnothing 112 mm x 25 mm	\$ 150.00	\$ 150.00
4	4	Baffles SAE 304 - 28 mm x 215 mm	\$ 100.00	\$ 400.00
5	1	Base del tanque SAE 304 - 520 mm x 8 mm x 400 mm	\$ 180.00	\$ 180.00
6	1	Base del motor SAE 304 - 520 mm x 8 mm x 60 mm	\$ 100.00	\$ 100.00
7	4	Ejes de la estructura SAE 304 - \varnothing 13 mm x 382 mm	\$ 70.00	\$ 280.00
8	1	Cañería de aireación SAE 304 - \varnothing 55 mm	\$ 15.00	\$ 15.00
9	4	Soportes de duralón (estándar)	\$ 50.00	\$ 200.00
10	1	Pintura epóxica (1 litro)	\$ 60.00	\$ 60.00
11	----	Elementos de ajuste y otros	\$ 30.00	\$ 30.00
TOTAL				\$ 1 565.00

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

En la Tabla 3-2 se detallan los costos de los componentes que requiere el biorreactor para su funcionamiento y mejor desempeño.

Tabla 3-2 Costos de complementos del Biorreactor

Item	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	1	Motor DC (44 - 1991 W)	\$ 500.00	\$ 500.00
2	2	Bombas peristálticas (0 - 100 ml/min)	\$ 35.00	\$ 70.00
3	1	Sensor de Temperatura (-20°C - 420 °C)	\$ 20.00	\$ 20.00
4	1	Transmisor de señal Pt100	\$ 60.00	\$ 60.00
5	1	Sensor de pH - Atlas Scientific (0.001 – 14.000)	\$ 250.00	\$ 250.00
6	1	Arduino Mega	\$ 35.00	\$ 35.00
7	1	Bomba de aire (6 l/min)	\$ 11.00	\$ 11.00
8	1	Piedra difusora	\$ 2.00	\$ 2.00
9	3	Diseño e impresión de circuitos eléctricos	\$ 40.00	\$ 120.00
10	1	SIMATIC S7 1200 1212C AC/DC/RELÉ	\$ 500.00	\$ 500.00
11	1	SIMATIC HMI KTP600 BASIC COLOR DP	\$ 800.00	\$ 800.00
12	1	RELE ESTADO SOLIDO CRYDOM D2450 3-32VDC 50A	\$ 100.00	\$ 100.00
13	1	Componentes electrónicos varios	\$ 200.00	\$ 200.00
14	1	CSM1277 Switch Industrial Ethernet	\$ 240.00	\$ 240.00
15	2	CONVERSION UART A RJ45	\$ 20.00	\$ 40.00
16	1	EZO™ Dissolved Oxygen Circuit + Dissolved Oxygen Probe + 125ml (4oz) 0 Dissolved Oxygen calibration solution + Pre-Assembled Female BNC connector	\$ 297.00	\$ 297.00
17	1	Componentes mecánicos varios	\$ 200.00	\$ 200.00
TOTAL				\$ 3 445.00

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

En la Tabla 3-3 se detallan los insumos adquiridos para la validación del funcionamiento del Biorreactor. Estos elementos son requeridos para las pruebas que se realicen en el equipo.

Tabla 3-3 Insumos para pruebas en laboratorios del proceso biotecnológico

Item	Cantidad	REACTIVOS	Precio unitario	Precio total
1	2	GLUCOSA ANHIDRO ACS 1KG, FISHER	\$ 80.00	\$ 160
2	1	HIERRO II SULFATO HEPTAHIDRATADO (sulfato ferroso) 500 gr FISHER	\$ 36.80	\$ 36.8
3	1	MAGNESIO SULFATO HEPTAHIDRATADO ACS 500GR, FISHER	\$ 45.78	\$ 45.78
4	1	POTASIO CLORURO ACS 1 KG, FISHER	\$ 45.12	\$ 45.12
5	1	POTASIO HIDROXIDO ACS 500 GR, FISHER	\$ 31.80	\$ 31.8
6	2	AMONIO SULFATO ACS 500 GR. FISHER	\$ 38.29	\$ 76.58
7	2	Fosfato dibásico de Potasio (KH_2PO_4) (500 gr)	\$ 125.00	\$ 250
8	2	Fosfato monobásico de potasio (K_2HPO_4) (500 gr)	\$ 125.00	\$ 250
9	4	MATRAZ ERLLENMEYER 100ML BOCA ESTRECHA, OBEROI	\$ 2.95	\$ 11.8
10	4	MATRAZ ERLLENMEYER 250ML DURAN SCHOTT	\$ 4.10	\$ 16.4
11	6	FRASCO AUTOCLAVABLE GRAD. T/ROSC/AZUL 500ML, DURAN SCHOTT	\$ 8.65	\$ 51.9
12	6	FRASCO AUTOCLAVABLE GRAD. T/ROSC/AZUL 250ML, DURAN SCHOTT	\$ 6.35	\$ 38.1
13	4	MATRAZ ERLLENMEYER 250ML DURAN SCHOTT	\$ 4.10	\$ 16.4
14	4	MATRAZ ERLLENMEYER 500ML BOCA ANCHA, OBEROI	\$ 5.60	\$ 22.4
15	4	MATRAZ ERLLENMEYER 1000ML, DURAN SCHOTT	\$ 8.25	\$ 33
16	4	FRASCO AUTOCLAVABLE GRAD. T/ROSC/AZUL 500ML, DURAN SCHOTT	\$ 8.65	\$ 34.6
17	2	Microplacas estériles	\$ 56.00	\$ 112
18	2	Puntas no estériles (1000 ul, 200 ul, 10 ul)	\$ 85.50	\$ 171
19	2	Cajas Petri	\$ 45.50	\$ 91
20	2	Puntas no estériles (10 ml)	\$ 62.70	\$ 125.4
TOTAL:				\$ 1620.08

Fuente: Saeteros, 2017

Elaboración propia

El costo final del proyecto que comprende los costos de materiales, fabricación y validación del Biorreactor, es aproximadamente **\$ 6 630.08**; donde se debe tener en cuenta que el costo de mano de obra se incluye en los costos de la estructura del Biorreactor.

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El diseño del presente biorreactor responde a las necesidades requeridas por la carrera de Ingeniería en Alimentos y es un primer paso para el desarrollo y la fabricación de estos equipos a nivel nacional para proporcionar su fiabilidad y funcionalidad a los diferentes laboratorios del país. Este equipo está en capacidad de competir con los equipos diseñados fuera del país por su alta fiabilidad y bajos costos de construcción y mantenimiento. Una fortaleza muy importante del equipo es la interacción usuario-equipo debido a la interfaz gráfica que éste ofrece mediante una pantalla táctil para el control y monitoreo de las variables a controlar dentro del equipo. A su vez, el equipo informa al usuario mediante una alarma las maniobras a realizarse al momento que las propiedades del fluido dentro del biorreactor llegan a ciertos parámetros determinados por los sensores. El equipo cuenta con una vida útil prolongada debido a la calidad de los materiales, al control de temperatura del fluido dentro del tablero de control y a la sujeción correspondiente de los componentes electrónicos de ésta.

La limpieza del equipo es una de sus debilidades debido al peso de los componentes de la estructura de soporte del equipo. Otra debilidad es que no se puede variar la capacidad del equipo debido a que las dimensiones de los sensores no permiten un menor nivel del fluido dentro del biorreactor.

4.1 Conclusiones

- Se realizó el diseño de una caja para los elementos de control del biorreactor.
- Se diseñó la caja en base a un estudio estático donde se modeló la caja con una aceleración de **15g** que simula una carga de impacto, según estipula la norma IEC 60068-2-7 para transporte por vía terrestre y para manipulación del tablero de control. El análisis fue realizado en el software ANSYS®, versión 16.0. Se seleccionaron los pernos en base a los resultados obtenidos de la simulación, los cuales permiten cargas de corte

de **1600.6N**. Por tanto, el diámetro de los pernos de sujeción es de **6.2mm**. Se seleccionaron pernos de M8 por ser la medida más cercana al diámetro requerido.

- Se demostró que para el caso de una caja completamente sellada (no permite entrada ni salida de aire) la temperatura del aire en el interior de la caja alcanza una temperatura de **61°C**, temperatura no recomendable para los componentes electrónicos porque excede su máxima temperatura de operación (de 60°C). Esto, si bien no daña al equipo inmediatamente, reduce su vida útil, provocando que, a largo plazo, el cambio de los componentes sea más frecuente.
- Se consideró convección natural como medida suficiente para el enfriamiento de los componentes electrónicos del control automático del biorreactor. Esta medida permite una temperatura del aire en el interior de la caja de **49.5°C**, lo que permite que los componentes electrónicos se hallen en una temperatura por debajo de sus temperaturas críticas de operación (de 60°C)
- Se corroboraron los resultados obtenidos mediante los cálculos analíticos y las simulaciones con los obtenidos durante las pruebas de cultivo de la bacteria *bacillus subtilis* (duración del cultivo de 24 a 48 horas) mediante un sensor de temperatura controlado por Arduino. **El error entre las temperaturas reales y teóricas está alrededor de 1.5%.**
- La temperatura del fluido en los alrededores de los equipos electrónicos es menor a sus temperaturas críticas, lo que les proporciona a estos equipos una vida útil más prolongada en comparación con la operación de estos equipos a una temperatura mayor a sus máximas temperaturas de operación.

4.2 Recomendaciones

- La limpieza del equipo resulta difícil de realizar debido a que los elementos de la estructura de soporte del biorreactor son relativamente pesados y el sistema de sujeción del eje para el proceso de mezcla con el motor no da la facilidad de un acople y desacople rápido. Esto implica a dos operadores

para el proceso de limpieza del equipo, proceso de mucha importancia por las condiciones que requiere cada proceso de cultivo.

- Actualmente el proceso de calibración no cuenta con una interfaz propia de esa operación, por lo que el proceso lo realiza el operador de forma manual mediante la pantalla táctil del equipo. Esto es debido a problemas de comunicación de ciertos sensores con el sistema de control. Se recomienda, por tanto, implementar una interfaz de calibración de sensores como un proceso de preparación del equipo para los cultivos y las pruebas que se deban realizar.
- Se recomienda un cambio periódico de las mangueras de las bombas peristálticas debido a que no son capaces de soportar las sustancias ácidas y básicas; lo que provoca que se deterioren con mayor rapidez.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aplicaciones de los biorreactores - Bioingeniería. (s/f). Recuperado el 25 de mayo de 2017, a partir de <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion/2-5-aplicaciones-de-los-biorreactores>
2. antibiotic | chemical compound. (s/f). Recuperado el 27 de agosto de 2017, a partir de <https://www.britannica.com/science/antibiotic>
3. ASTM A525 Galvanized Steel. (s/f). Recuperado el 19 de agosto de 2017, a partir de <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=abfb07b7f93a4c358a0ddd194f5c18be>
4. bacillus | bacteria. (s/f). Recuperado el 27 de agosto de 2017, a partir de <https://www.britannica.com/science/bacillus-bacteria>
5. Basic Control Systems. (s/f). Recuperado el 25 de julio de 2017, a partir de <http://www.plcinabox.com/basic-control-systems/>
6. Biorreactor de laboratorio / de un solo uso - BIOSTAT® STR - Sartorius Group. (s/f). Recuperado el 24 de agosto de 2017, a partir de <http://www.medicalexpo.es/prod/sartorius-group/product-69922-508790.html>
7. Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: fundamentals & applications* (Fifth edition). New York, NY: McGraw Hill Education.
8. Compak | Professional Coffee Grinders | F10 Conic OD. (s/f). Recuperado el 25 de julio de 2017, a partir de <http://www.compakgrinders.com/en/f10-conic-fresh-od-2.php>
9. Danny. (2012, marzo 27). Pivo Danny: Practica 1 3ev: Cajas del Ordenador. Recuperado a partir de <http://pivodanny.blogspot.com/2012/03/practica-1-3ev-cajas-del-ordenador.html>

10. DIY Electronics- Case. (s/f). Recuperado el 25 de julio de 2017, a partir de <https://www.pinterest.com/sunemall/diy-electronics-case/>
11. Ganesh Karanth, N., & Eugene Raj, A. (2005). Fermentation Technology and Bioreactor Design. En *Food Biotechnology, Second Edition* (Vols. 1–0). CRC Press. Recuperado a partir de <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420027976.ch1.03>
12. Heatsink for Raspberry Pi. (s/f). Recuperado el 25 de julio de 2017, a partir de <https://osmc.tv/store/product/heatsink-for-raspberry-pi/>
13. KG, R. G. & C. (s/f). Enclosures. Recuperado el 26 de julio de 2017, a partir de https://www.rittal.com/com-en/content/en/sectors/references/enclosures/ref_enclosures.jsp
14. Mariam, F. A. I. (2010). *Thermal management of outside plant telecommunication cabinets: Design and CFD modeling methodology*. The University of Texas at Arlington. Recuperado a partir de <http://search.proquest.com/openview/9c724e7491c3ecb05b98bd97ac517c0e/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
15. Metodologías para el diseño. (s/f). *MasD*. Recuperado a partir de <http://masd.unbosque.edu.co/13/metodologias-para-el-diseno>
16. Mixing 101: Baffled by Baffles? | Dynamix Agitators. (2012, octubre 19). Recuperado el 27 de agosto de 2017, a partir de <http://www.dynamixinc.com/baffled-by-baffles>
17. Muthusamy, K., Gopalakrishnan, S., Ravi, T. K., & Sivachidambaram, P. (2008). Biosurfactants: Properties, commercial production and application. *Current Science*, 94(6), 736–747. <https://doi.org/10.2307/24100627>

18. Norton, R. L. (2014). *Machine Design*. Prentice Hall.
19. Nunez-Ramirez, D. M. (2012). Study of the Rheological Properties of a Fermentation Broth of the Fungus *Beauveria bassiana* in a Bioreactor Under Different Hydrodynamic Conditions. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22(11), 1494–1500. <https://doi.org/10.4014/jmb.1204.04029>
20. Pop, S. (s/f). Triton All-in-One Liquid Cooler from Raijintek Will Chill Any Intel and AMD CPUs/APUs. Recuperado el 25 de julio de 2017, a partir de <http://news.softpedia.com/news/Triton-All-in-One-Liquid-Cooler-from-Raijintek-Will-Chill-any-Intel-and-AMD-CPU-APU-459776.shtml>
21. Qué es un PLC y qué beneficios tiene? (s/f). Recuperado el 18 de junio de 2017, a partir de <http://www.abcinnova.com/articulos-e-informacion/18-ique-es-un-plc-y-que-beneficios-tiene.html>
22. Tulancingo, U. P. de. (s/f). Dispositivos electrónicos y la temperatura ambiental. Recuperado el 27 de agosto de 2017, a partir de http://www.milenio.com/firmas/universidad_politecnica_de_tulancingo/Dispositivos-electronicos-temperatura-ambiental_18_925287507.html
23. Vela, N. A. C. (2006). *Glosario de Biotecnología*. UAA.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Especificaciones técnicas del equipo

Tabla 4-1 Especificaciones del biorreactor

Especificaciones técnicas de sensor Pt100	
Rango de Temperatura	-20 °C – 420 °C
Contactos terminales	3EA (3 hilos: A, B, b)
Tipo de vaina	Probeta sin cabeza
Material del tubo de protección (probeta)	Acero Inoxidable
Material de la rosca de fijación	Acero inoxidable
Material de aislamiento del cable teflón	Con resguardo electromagnético
Longitud de la probeta	100 mm (3,93 ft)
Diámetro de la probeta	5 mm (0,197 ft)
Longitud del cable	2000 mm (6,5 ft)
Diámetro de rosca de fijación	PT (1/4 ')
Especificaciones técnicas de transmisor de señal Pt100	
Rango	0 – 500 °C
Tipo de sensor	Pt 100
Precisión	0,15 %
Alimentación	20 – 30 VDC
Salida	4 – 20 mA (2 hilos)
Ajuste	Cero y Span
Código	P102194
Especificaciones técnicas del sensor de pH	
Rango	0.001 – 14.000
Tasa máxima	Una lectura por segundo
Sondas compatibles	Cualquier tipo y marca
Calibración	1, 2, 3 puntos
Compensación temporal	Sí
Protocolo de datos	UART & I ² C
Dirección predeterminada de I ² C	(0 x 63)
Voltaje de operación	3,3 V – 5 V
Formato de datos (comunicación)	ASCII
Especificaciones técnicas del sensor de oxígeno disuelto	
Rango	0.01 – 35,99 mg/l
Tasa máxima	Una lectura por segundo

Sondas compatibles	Cualquier tipo de sonda galvánica
Calibración	1 o 2 puntos
Compensación de temperatura, salinidad y presión	Sí
Protocolo de datos	UART & I ² C
Dirección predeterminada de I²C	(0 x 61)
Voltaje de operación	3,3 V – 5 V
Formato de datos (comunicación)	ASCII
Especificaciones técnicas de las bombas peristálticas	
Voltaje	DC 12 V
Condiciones de trabajo	0 – 40 °C
Humedad relativa	< 80 %
Razón de flujo	0 – 100 ml/min
Velocidad de rotación	0,1 – 100 rpm
Tamaño del conductor	∅: 27,6 mm x h: 37,9 mm
Cabezal	∅: 31,7 mm x h: 37,9 mm
Tubos de bomba (ID x OD)	∅: 2,5 mm x h: 37,9 mm
Peso	250 g
Especificaciones del tanque	
Capacidad total	14 litros
Capacidad nominal	10 litros
Diámetro	280 mm
Altura del cuerpo	260 mm
Material	Acero AISI SAE 304
Espesor	1 mm
Especificaciones del sistema de agitación	
Tipo de impulsor	Turbina "vertical blade"
Número de aspas	6
Diámetro del agitador	112 mm
Potencia del impulsor	0,5 HP
Tasa de circulación interna	0,012 m ³ /s
Velocidad lineal superficial	0,19 m/s
Número de baffles	4
Diámetro del eje	16 mm
Material del eje e impulsor	Acero AISI SAE 304
Especificaciones del sistema de calentamiento	

Método de calentamiento	Resistencia externa
Flujo de calor	14,76 W
Área de transferencia de calor	0,062 m ²
Tiempo de calentamiento	2,46 s
Coefficiente global de transferencia de calor	625 W/m ² * K

APÉNDICE B

Biorreactor DR-MA – biorreactor de Laboratorio

MANUAL DE OPERACIONES



Biorreactor DR-MA
ESPOL
Guayaquil, Ecuador
Teléfono: +593 959 779 533
Email: support@instruments-laboratories.com

1. Chequeo de la entrega e inspección

Después de recibir la orden, inspeccione cuidadosamente todas las partes del biorreactor para verificar si ocurrió algún daño durante el envío.

En caso de que se detecten daños, por favor informarlo inmediatamente al departamento de ventas o una carta de reclamo para ayudarlo con el proceso.

2. Introducción

2.1. Concepto del diseño de *Biorreactor DR-MA*

Biorreactor DR-MA está diseñado para mantener un sistema biológicamente viable para el crecimiento microbiano; posee una capacidad volumétrica de 14L, además de está conectado directamente al ordenador para examinar los parámetros de control del sistema.



Entre las innovaciones que posee *Biorreactor DR-MA*, es el mantenimiento de la esterilidad perfecta, y la curva de temperatura, potencial redox y oxígeno disuelto, además de poseer deflectores móviles que evitan la formación de vórtices y permiten una mejor limpieza del equipo.

2.1.1. Especificaciones

Características <i>Biorreactor DR-MA</i>	
Escala del biorreactor	Laboratorio
Diseño	Tanque agitado
Modo de operación	Batch
Control de parámetros	Temperatura, pH, oxígeno disuelto.
Agitación	Min: 0 RPM Max: 150 RPM Potencia: 0.5 HP
Temperatura	Controlador automático con pt100 Min: Temperatura ambiente Max: 400°C
pH	Lector automático con sensor pH-metro Controlador automático con bombas peristálticas (adición de ácido y base) Recipientes de almacenamiento y tuberías para la adición de ácido y base
Oxígeno disuelto (OD)	Controlador automático de OD Min: 2 ppm
Alertas	Para valores altos y bajos de cada parámetro
Dispositivo de muestreo	Válvula en la parte frontal del tanque agitado
Dispositivo de enfriamiento	Ventilador
Programa para ordenador	Tía Portal - PLC

2.1.2. Unidad principal de control de *Biorreactor DR-MA*

Los sistemas biológicos son complejos y por ende la mayoría de los parámetros deben ser controlados, para lo cual existen unidades de control y regulación de pH, temperatura y oxígeno disuelto.

2.1.3. Parámetro agitación

Biorreactor DR-MA utiliza un sistema de agitación de corriente continua, que se compone de un eje y un agitador tipo turbina de 6 paletas, que giran a 120 RPM.

2.1.4. Parámetro temperatura

Para la medición y control de temperatura se utiliza una pt100, la cual se usa para:

- Corrección automática de la temperatura para la correspondiente medición de pH.
- Medición de la temperatura del medio de fermentación / caldo celular o de cultivo.
- Control automático de la temperatura del medio de fermentación / caldo o de cultivo (Tipo de control: PID).

2.1.5. Parámetro pH

Para la medición del pH se utiliza un electrodo de pH o pH-metro, y para su control se utilizan bombas peristálticas, tuberías y vasos de almacenamiento de ácido y base; estas bombas se activan si los niveles de ácido o base se encuentran fuera de los límites permitidos y se realiza durante el intervalo completo de velocidad de la bomba.

Para el control automático del pH, el programa compara el valor de pH real con el preestablecido o prefijado. De acuerdo a las diferencias de estos valores, ácido o base serán adicionados al medio

2.1.6. Parámetro Oxígeno disuelto

Mediante la adición de aire estéril por medio de una bomba con filtro de aire, se controlan los intervalos de 10ml/min para usar como control automático de OD.

2.1.7. Sistema de muestreo

Para disminuir el riesgo de contaminación durante el muestreo, se ha instalado una válvula NPT en la parte frontal del tanque; dicha válvula posee un tapón hermético que evita la contaminación.

2.2. Medidas de seguridad

2.2.1. Precauciones para la manipulación

Seguir las medidas de seguridad y precauciones mientras manipula el *Biorreactor DR-MA* para su seguridad y la del equipo.

- ✚ Nunca caliente un biorreactor vacío, debido a que la radiación de calor es absorbida por las paredes del biorreactor y la temperatura pudiera incrementarse a tal punto, que la dilatación térmica pudiera llevar a la deformación del mismo.
- ✚ Durante la esterilización, nunca llene más de 2/3 del volumen del vaso de vidrio con líquido.
- ✚ Para facilitar la inserción de los tapones de silicona de sellos, puede humedecerlos con gotas de agua destilada. Estos podrán deslizarse y salir con mayor facilidad.
- ✚ Para retirar los tapones adicione una gota o dos de agua destilada entre el tapón y la pared del biorreactor. Muévelos de un lado al otro, mientras va empujando o halando hacia afuera al mismo tiempo.



2.2.2. Precauciones para la esterilización

- ✚ Ingrese 12 litros de agua al tanque y programe la temperatura a 100°C. Durante el proceso evite tocar la superficie del tanque para evitar quemaduras.



2.2.3. Precauciones para reactivos y microorganismos peligrosos

- ✚ Mientras manipule reactivos corrosivos y otros reactivos peligrosos utilice mandil, cofia, guantes y siga las instrucciones de seguridad del laboratorio.
- ✚ Durante la manipulación de patógenos y microorganismos peligrosos aplique las medidas de precaución necesarias de acuerdo con las reglas del laboratorio.
- ✚ Mientras que su proceso permita el empleo de otros ácidos tales como H_3PO_4 o H_2SO_4 , no utilice HCl como ácido para la fermentación.



3. Instalaciones



Para comenzar con el proceso de instalación, ponga a punto la unidad principal de control, en la cual deben ser fijadas o conectadas otras partes necesarias para el trabajo. La unidad de control incluye conectores para los electrodos de pH, OD y temperatura, resistencia de calentamiento y otros microprocesadores que controlan todos los parámetros que necesitan ser medidos y procesados.

3.1. Paso a paso



3.2. Paso a paso (gráficos)



1. Lavar los baffles, el tanque y su tapa



2. Colocar el tanque de acero inoxidable previamente lavado



3. Ubicar la base superior con cuidado



4. Verificar que coincidan todos los agujeros



5. Colocar la resistencia eléctrica



6. Conectar los sensores y los cables de poder



7. Esterilizar los sensores antes de ingresarlos al equipo.



8. Producto armado

3.3. Fuente de energía principal

El cable de la fuente de la energía principal de *Biorreactor DR-MA* tiene que ser conectado a la entrada de energía ubicada en la parte posterior o trasera de la unidad principal de control y el sistema puede ser encendido o apagado usando un interruptor pequeño ubicado justo alado del motor en la base superior.

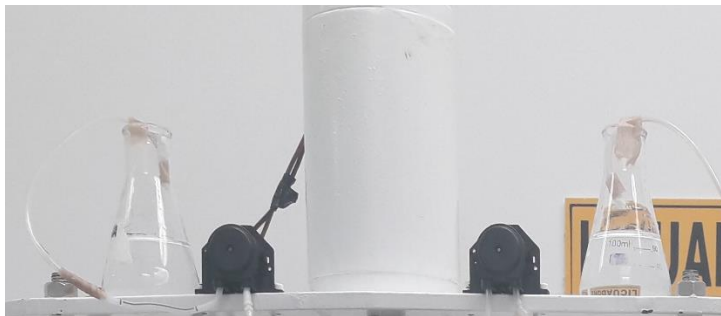
No enchufe o conecte en la fuente o suministro de energía, a menos que haya terminado con las otras conexiones.

Chequee la siguiente lista antes de encender *Biorreactor DR-MA*:

- Entrada de aire
- Bombas peristálticas
- Electrodo de pH
- Electrodo de OD
- Conexión de los sensores al tablero
- Conexión de la bomba de oxígeno

3.4. Instalaciones de las bombas peristálticas

Las bombas para la adición del ácido y la base empleadas para el control del pH debe ser conectada al conector para el ácido o la base ubicado en la parte lateral del tablero de control.



4. Calibraciones

4.1. Agitador

El parámetro agitación no requiere de calibración, sino de una regulación de las revoluciones por minuto que necesite el proceso.

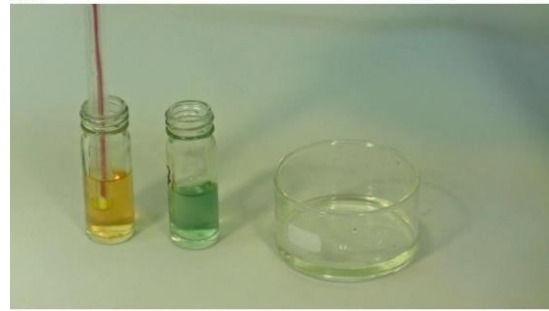
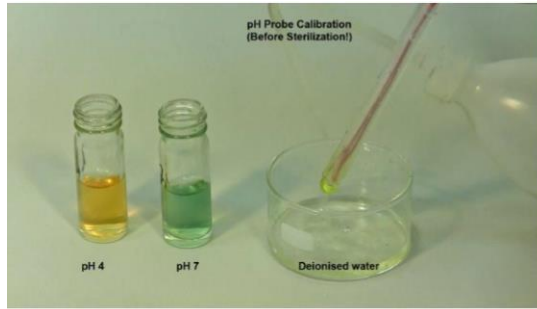
4.2. Temperatura

El electrodo de temperatura no puede ser calibrado, ya que los valores reales son garantizados y controlados electrónicamente.

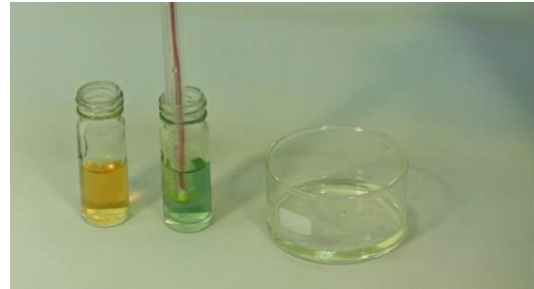
4.3. pH

La calibración del electrodo de pH tiene un sistema de calibración de tres puntos con tres soluciones o tampones estándares (ácido, base y neutro). La calibración del electrodo de pH, debe realizarse antes de la esterilización.

Seleccione los tampones de acuerdo al intervalo de pH de la fermentación. Para las fermentaciones estándares con un intervalo de pH que oscila entre 6.0 y 7.0, se recomienda elegir el tampón pH 7.0, el tampón de pH 10.0 y el tampón pH 4.0 para la calibración. Para la manipulación de sustancias corrosivas, utilice espejuelos de protección y guantes; y siga las instrucciones de seguridad del laboratorio.



1. Prepare los tampones necesarios y lave el electrodo con agua desionizada. Seque el electrodo con papel secante.
2. Sumerja el electrodo en la solución de calibración y agítelo suavemente. Y el sistema automáticamente guardará el valor.



3. Lave el electrodo con agua desionizada y seque el electrodo con papel secante.
4. Sumerja el electrodo en la solución de calibración y agítelo suavemente. Y el sistema automáticamente guardará el valor.

4.4. Oxígeno disuelto

La concentración de saturación de oxígeno en agua pura varía con la temperatura, la presión del aire y la concentración de sustancias disueltas en el medio.

La variación de la temperatura es compensada automáticamente. La calibración se realiza por lo general después de la esterilización con la agitación adecuada.

La calibración y la medición no pueden hacerse sin agitación, debido al consumo de oxígeno por el proceso electroquímico, este está agotado en la proximidad de la membrana y la señal medida disminuye. En caso de que la calibración se haga en un recipiente externo, asegúrese de que las burbujas de gas se mezclen bien en la solución.

La calibración del sensor de oxígeno disuelto (OD) tiene que realizarse ANTES y DESPUÉS de la ESTERILIZACIÓN.



5. Sistema de limpieza

5.1. Procedimiento de preparación

Antes de realizar el procedimiento para desensamblar, limpiar y desinfectar el equipo de manera correcta es importante que primero se deje enfriar el tanque y posteriormente se deben seguir los siguientes pasos:

1. Desconectar de la corriente eléctrica el equipo (resistencia, sistema de enfriamiento, sistema de aireación, agitador)
2. Desenroscar las 4 tuercas de seguridad ubicadas en la parte superior de la tapa del soporte del Biorreactor
3. Desmontar la base superior del equipo
4. Retirar el sensor de temperatura
5. Retirar el tanque
6. Retirar los baffles
7. Retirar el cultivo restante mediante la válvula toma muestra

Una vez desensamblado el equipo en su totalidad se procede a realizar la limpieza del tanque, cabe recalcar que este tipo de limpieza es COP (Clean Out of Place).

5.2. Procedimiento de limpieza del tanque

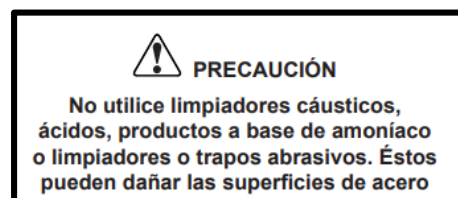
Prelavado

En esta etapa se busca la eliminación de partículas en el tanque antes de aplicar la solución de limpieza. Esto se puede lograr al hacer pasar agua fría o caliente a presión moderada.

Lavado

Se realiza la aplicación de componentes de lavado alcalino debido a que en el tanque habrá un medio ligeramente ácido. El componente de limpieza será un detergente en forma de espuma:

- Nombre producto Químico: Arofoam
- Tipo de producto: alcalino clorado
- Concentración de uso: Disolución de 5%
- Temperatura: Agua caliente máx. a 50 °C
- Presión: 50 – 100 bar
- Tiempo de actuación: 5 - 10 minutos



Enjuague

Se realiza un enjuague con abundante agua potable para eliminar todos los rastros de la solución de limpieza. Luego se debe secar el tanque con toallas de papel desechables

Desinfección

Consiste en la aplicación de desinfectante:

- Nombre producto Químico: Peracid
- Tipo de producto: Ácido peracético
- Concentración de uso: 0,5 - 2%
- Temperatura: Ambiente o desde 30 °C
- Tiempo de actuación: 10-30 minutos

5.3. Procedimiento de limpieza del electrodo de pH

Para la limpieza del electrodo de pH será necesario tener agua destilada. Con ayuda de una pipeta, enjuagar el electrodo y luego séquelo con papel toalla antes de su almacenamiento.

5.4. Procedimiento de limpieza del sensor de temperatura

Prelavado

En esta etapa se busca la eliminación de partículas adheridas al sensor antes de aplicar la solución de limpieza. Esto se puede lograr al hacer pasar agua fría o caliente a presión moderada.

Lavado

Su limpieza se realizará por inmersión y se aplicará un componente de lavado alcalino debido a que el sensor va a estar en contacto con un medio ligeramente ácido. El componente de limpieza será un detergente en forma de espuma:

- Nombre producto Químico: Arofoam
- Tipo de producto: alcalino clorado
- Concentración de uso: Disolución de 5%
- Temperatura: 50 °C
- Tiempo de actuación: 5 - 10 minutos

Enjuague

Se realiza un enjuague con abundante agua potable para eliminar todos los rastros de la solución de limpieza, luego se debe secar el sensor con toallas de papel desechables.

Desinfección

Consiste en la aplicación de desinfectante:

- Nombre producto Químico: Peracid
- Tipo de producto: Ácido peracético
- Concentración de uso: 0,5 - 2%
- Temperatura: Ambiente o desde 30 °C
- Tiempo de actuación: 10-30 minutos

5.5. Procedimiento de limpieza del agitador

Prelavado

En esta etapa se busca la eliminación de partículas en el agitador antes de aplicar la solución de limpieza. Esto se puede lograr al hacer pasar agua fría o caliente a presión moderada.

Lavado

Este proceso se realizará por inmersión y se aplicará un componente de lavado alcalino debido a que en el agitador va a estar en contacto con un medio ligeramente ácido. El componente de limpieza será un detergente en forma de espuma:

- Nombre producto Químico: Arofoam
- Tipo de producto: alcalino clorado

- Concentración de uso: Disolución de 5%
- Temperatura: 50 °C
- Tiempo de actuación: 5 - 10 minutos

Enjuague

Se realiza un enjuague con abundante agua potable para eliminar todos los rastros de la solución de limpieza. Luego se debe secar el tanque con toallas de papel desechables

Desinfección

Consiste en la aplicación de desinfectante:

- Nombre producto Químico: Peracid
- Tipo de producto: Ácido peracético
- Concentración de uso: 0,5 - 2%
- Temperatura: Ambiente o desde 30 °C
- Tiempo de actuación: 10-30 minutos

5.6. Procedimiento de limpieza de la tubería de alimentación

Prelavado

En esta etapa se busca la eliminación de partículas adheridas en la tubería de alimentación antes de aplicar la solución de limpieza.

Lavado

Este proceso se llevará a cabo haciendo pasar por la tubería el componente de lavado alcalino debido a que la tubería estará en contacto con vapores de un medio ligeramente ácido. El componente de limpieza será un detergente en forma de espuma:

- Nombre producto Químico: Arofoam
- Tipo de producto: alcalino clorado
- Concentración de uso: Disolución de 5%
- Temperatura: 50 °C
- Tiempo de actuación: 5 - 10 minutos

Enjuague

Se realiza un enjuague, haciendo pasar abundante agua potable para eliminar todos los rastros de la solución de limpieza.

Desinfección

Consiste en hacer pasar por la tubería el desinfectante:

- Nombre producto Químico: Peracid
- Tipo de producto: Ácido peracético
- Concentración de uso: 0,5 - 2%
- Temperatura: Ambiente o desde 30 °C
- Tiempo de actuación: 10-30 minutos



Manual / Guía de usuario de Biorreactor DR-MA

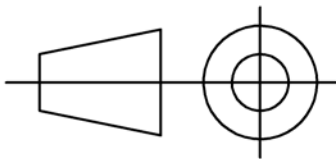
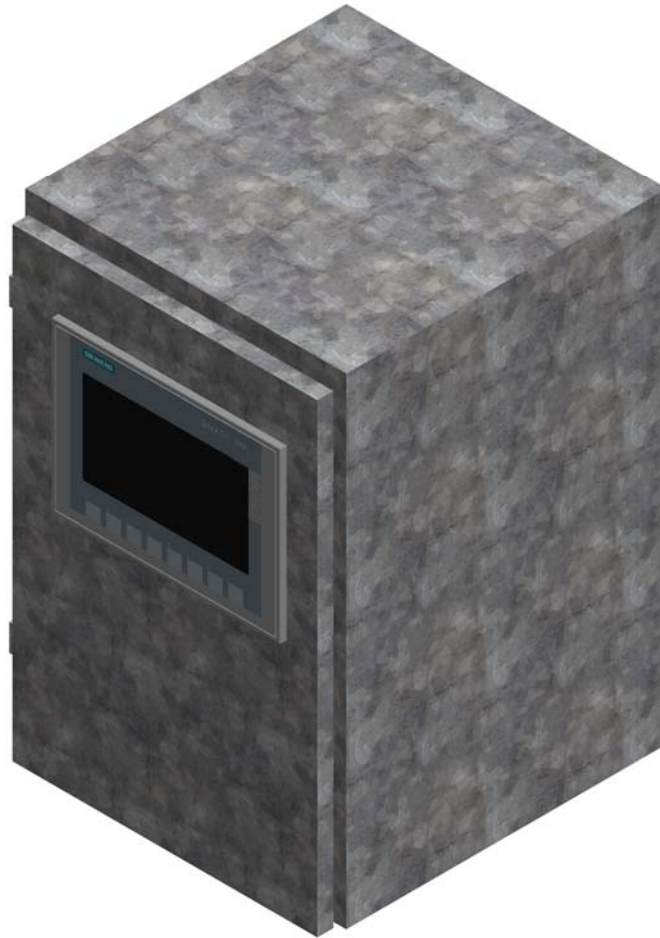
ESPOL

Guayaquil, Ecuador

Teléfono: +593 959 779 533

Email: support@instruments-laboratories.com

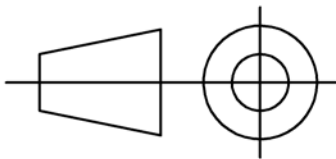
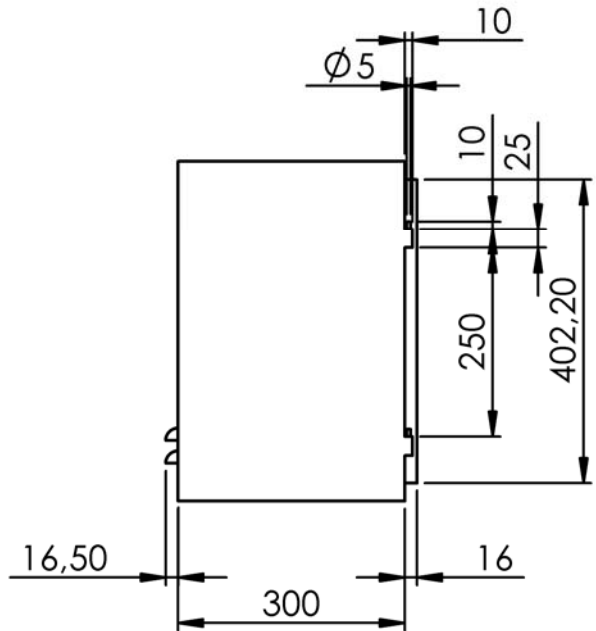
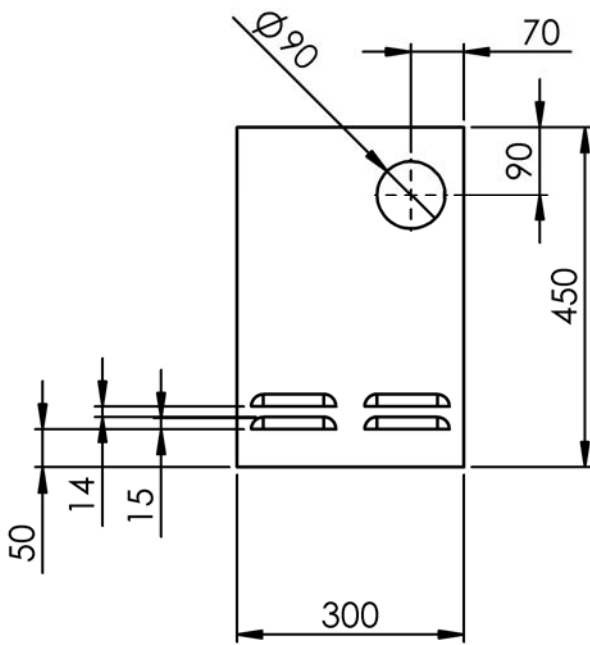
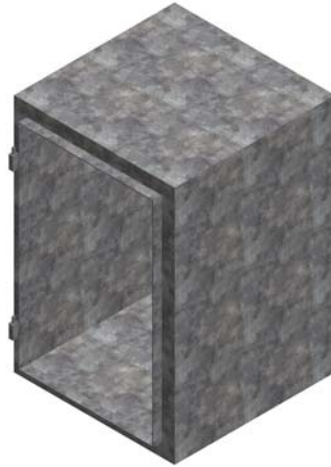
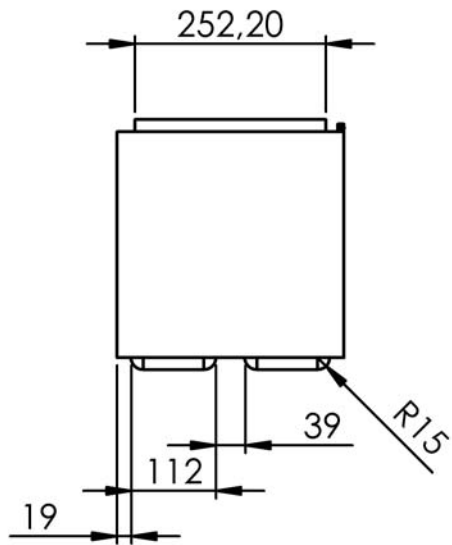
APÉNDICE C
Planos Esquemáticos



CAJA DE CONTROL

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL:	ESCALA:
Creado	26/08/2017	Saeteros Francisco	Acero galvanizado	1:5
Revisado	28/08/2017	Ing. Jorge Marcial		
ESPOL			No.	1/3

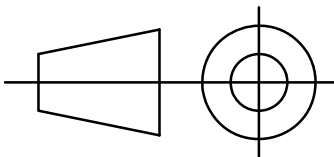
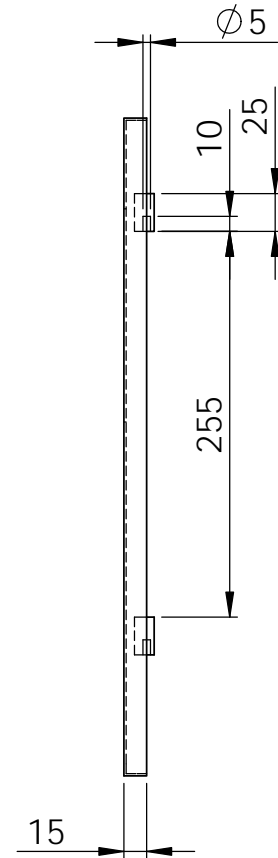
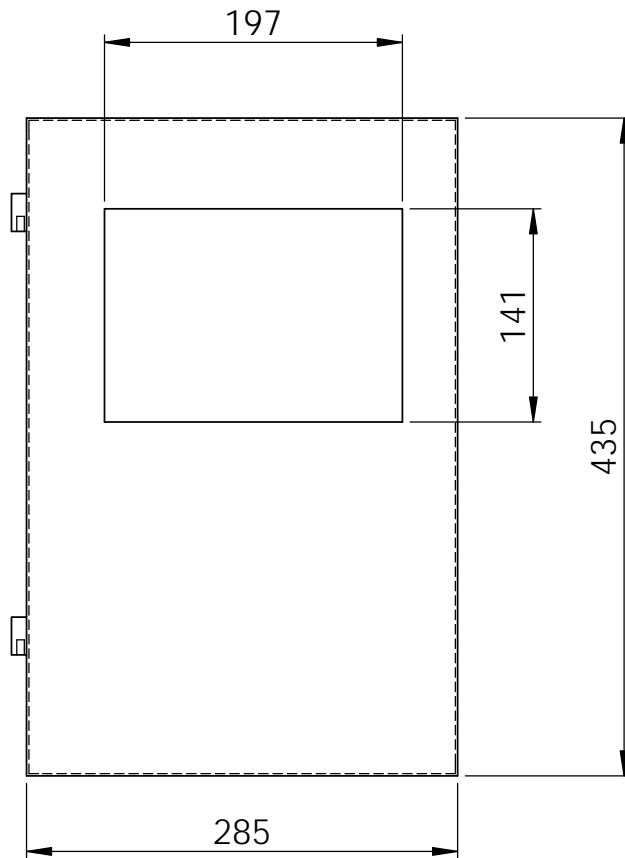
ESPESOR: 1.5MM



CAJA

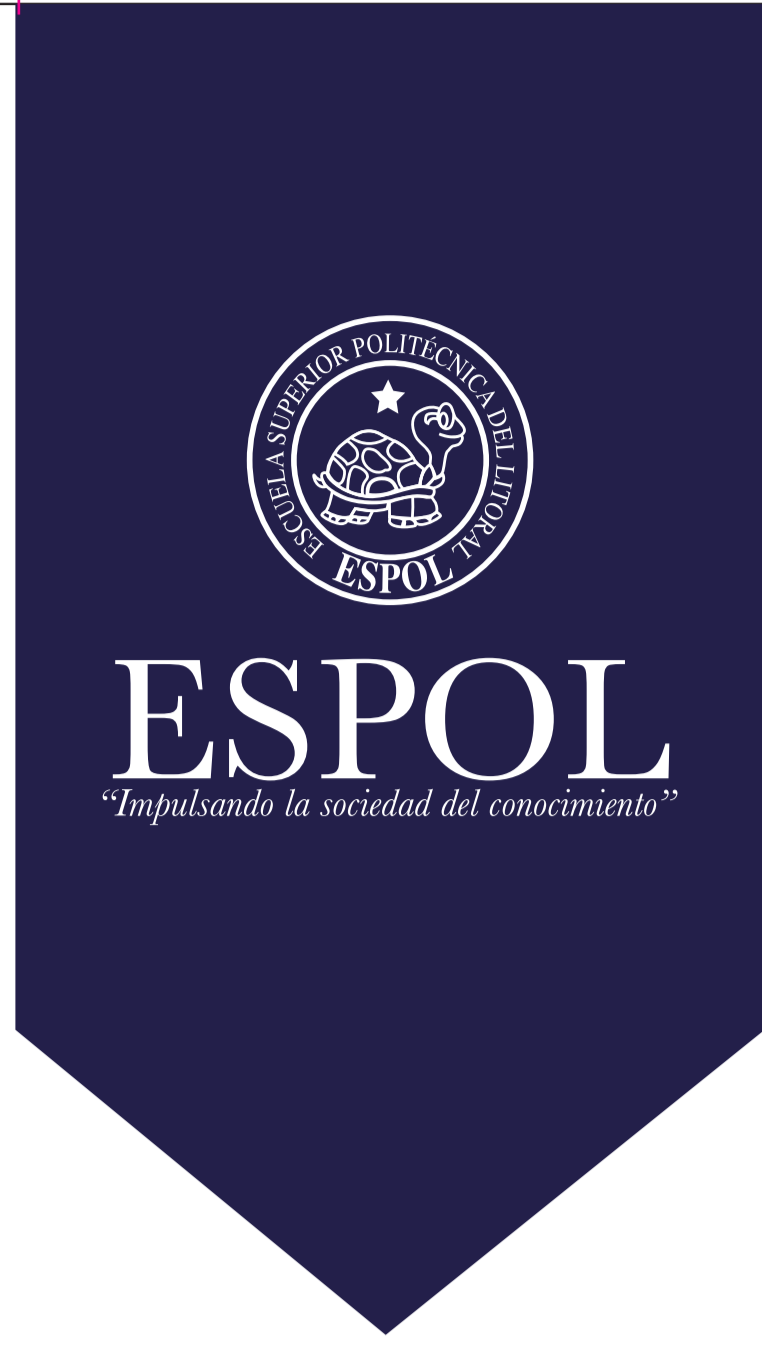
	FECHA	NOMBRE	MATERIAL:	ESCALA:
Creado	26/08/2017	Francisco Saeteros	Acero galvanizado	1:10
Revisado	28/08/2017	Ing. Jorge Marcial		
ESPOL			No.	2/3

ESPESOR: 1.5MM



PUERTA

	FECHA	NOMBRE	MATERIAL:	ESCALA:
Creado	26/08/2017	Saeteros Francisco	Acero galvanizado	1:5
Revisado	28/08/2017	Ing. Jorge Marcial		
ESPOL			No.	3/3



Ivette Sornoza
ipsornoz@espol.edu.ec
FIMCP



Francisco Saeteros
fsaetero@espol.edu.ec
FIMCP



Juan Arias
jarias@espol.edu.ec
FIEC

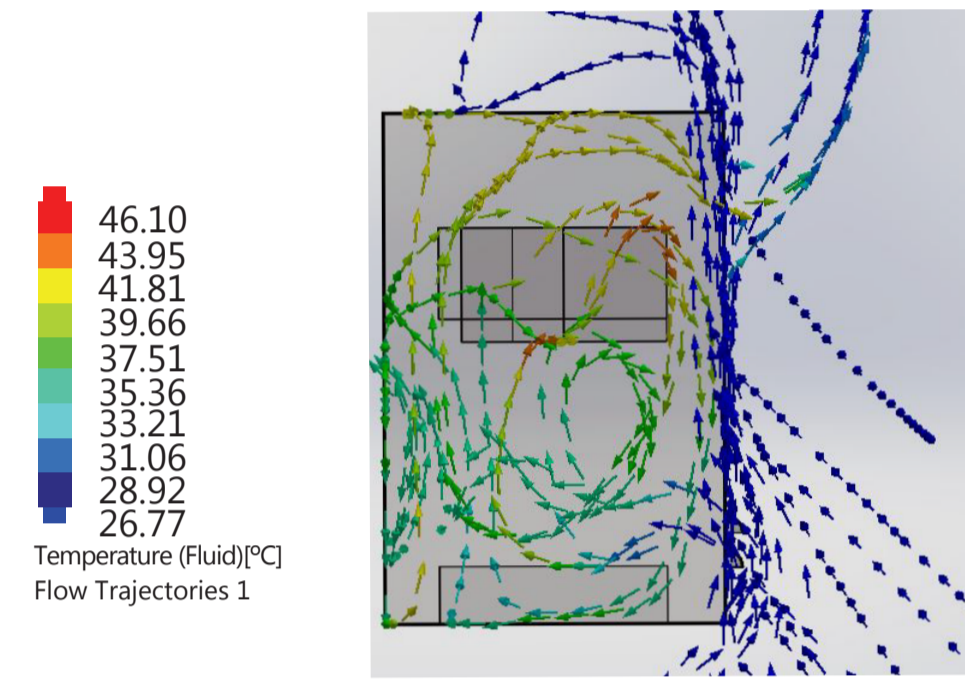
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN BIORREACTOR A ESCALA DE LABORATORIO CON SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.

Los biorreactores son sistemas que proporcionan un medio ambiente adecuado y controlado que permite el crecimiento eficaz de las células y la formación de un producto; con el control automatizado de parámetros específicos como agitación, temperatura, potencial de hidrógeno (pH) y oxígeno disuelto.

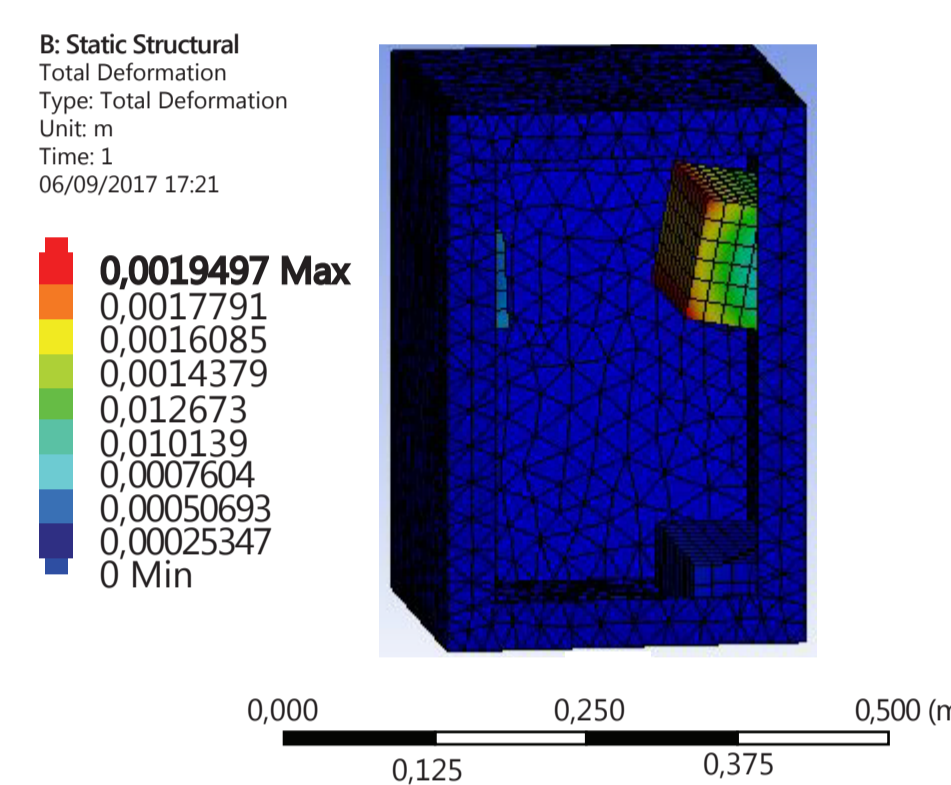


En el Ecuador los laboratorios que necesitan realizar cultivos bacterianos no cuentan con una oferta económicamente accesible de biorreactores con sistema de control automático. Para este proyecto se propuso rediseñar, construir y validar un biorreactor a escala para uso de laboratorio, esto para satisfacer la necesidad que tiene el CIBE y los laboratorios de Ing. en Alimentos para desarrollar procesos biotecnológicos.

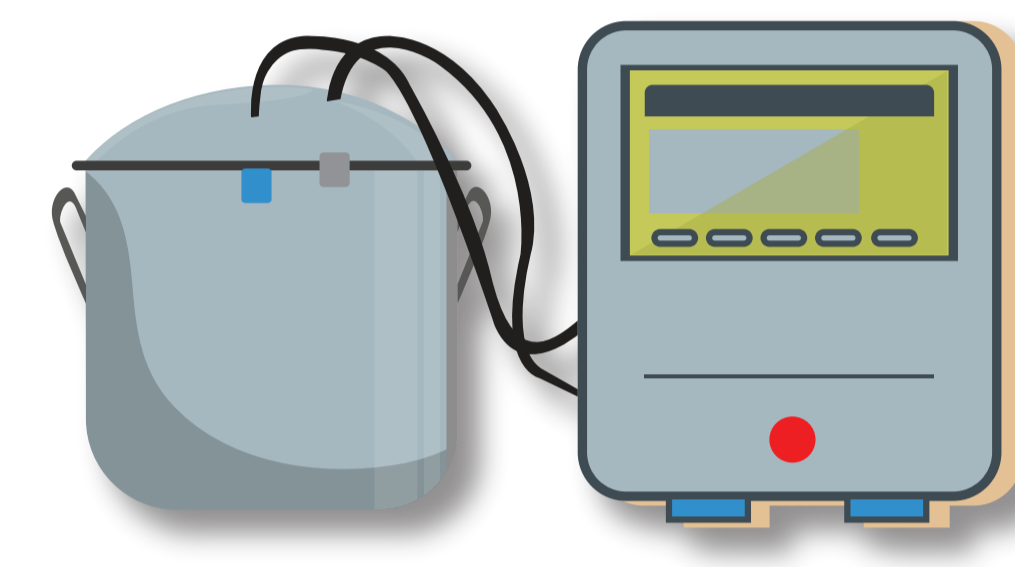
PASO 01 DISEÑO DE TABLERO DE CONTROL



Análisis Térmico

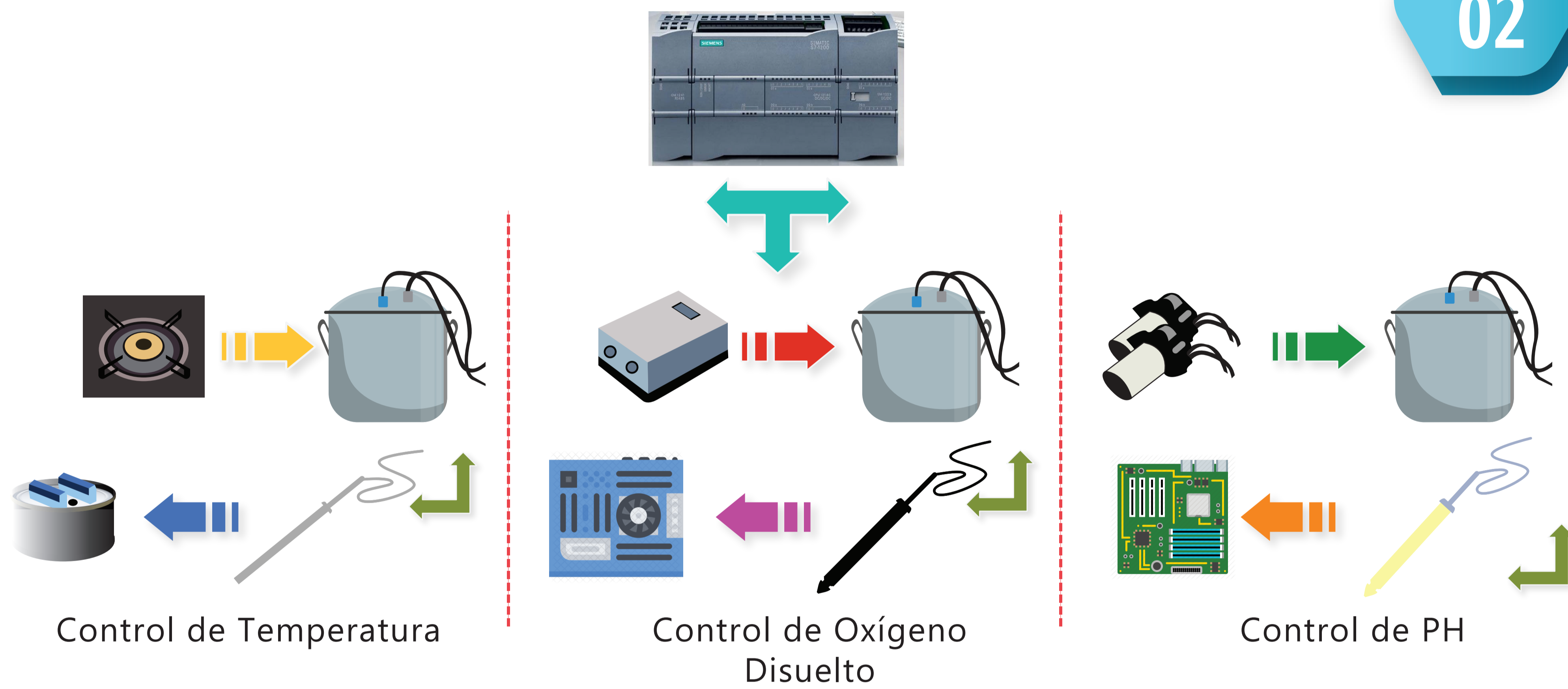


Análisis de Impacto



Biorreactor

CIRCUITO DE SISTEMA DE CONTROL PASO 02

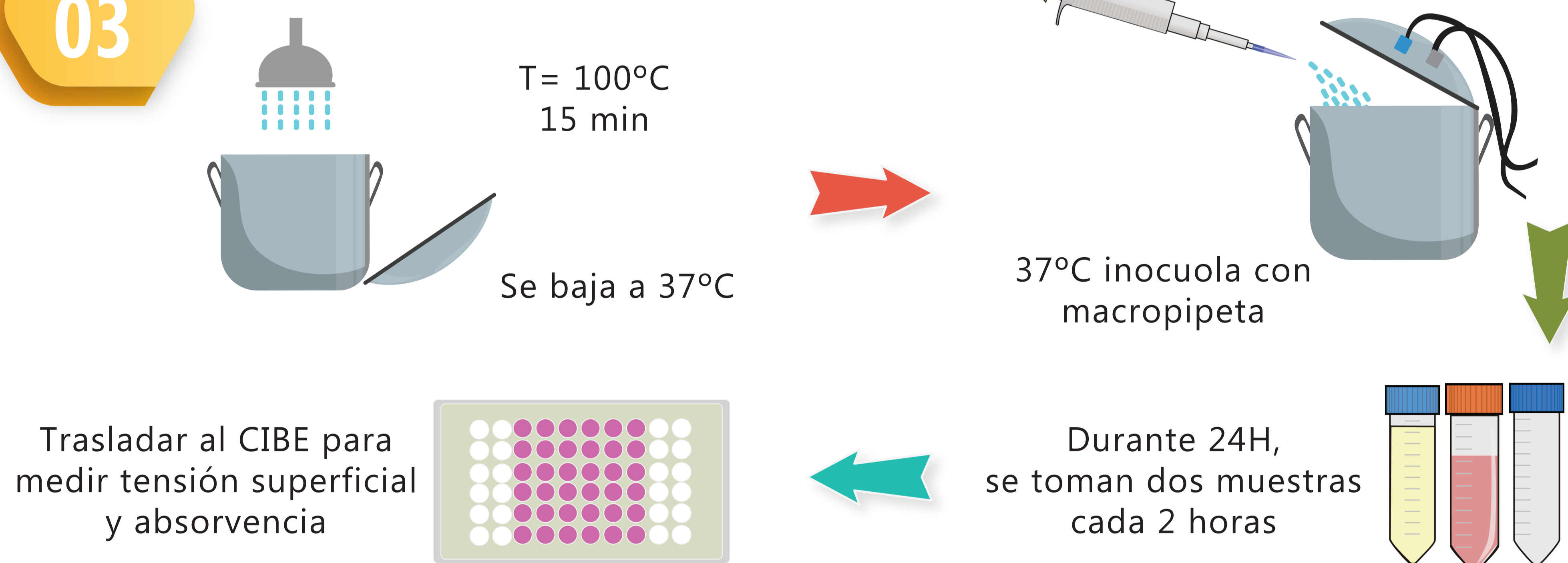


Control de Temperatura

Control de Oxígeno Disuelto

Control de PH

PASO 03 VALIDACIÓN



Trasladar al CIBE para medir tensión superficial y absorbencia

Durante 24H, se toman dos muestras cada 2 horas

CONCLUSIONES

Se logró diseñar, construir y validar el biorreactor de tanque agitado con sistema de control automático, con la producción de biotensoactivos (*Bacillus subtilis*) y cultivos estárter (*Saccharomyces cerevisiae*), obteniendo resultados favorables para dicha producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Jiménez, D., Medina, S., & Gracida, J. (2010). Propiedades, aplicaciones y producción de biotensoactivos. México.
- Mariam, F. A. I. (2010). Thermal management of outside plant telecommunication cabinets: Design and CFD modeling methodology. The University of Texas at Arlington.