

DISEÑO MECÁNICO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIORREACTOR PARA LA  
FERMENTACIÓN DE GLUCOSA HASTA n-BUTANOL

CÉSAR EDUARDO GOMÉZ SÁNCHEZ  
HENSON ALBERTO MEDINA CASTILLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2014

DISEÑO MECÁNICO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIORREACTOR PARA LA  
FERMENTACIÓN DE GLUCOSA HASTA n-BUTANOL

CÉSAR EDUARDO GOMÉZ SÁNCHEZ  
HENSON ALBERTO MEDINA CASTILLO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

MSc. JABID EDUARDO QUIROGA MÉNDEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2014

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan profundos agradecimientos a:

A Dios por habernos puesto en este camino.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Mecánica por la oportunidad de formarnos como hombres de ciencia y de mejorar como seres humanos.

Al ingeniero Jabid Eduardo Quiroga por su dedicación, apoyo, asesoría y orientación, lo cual permitió el desarrollo y la culminación exitosa de este proyecto de grado.

A todos aquellos amigos que han estado presentes en los buenos y malos momentos, ayudándonos a sortear los obstáculos que presenta el diario transcurrir de la vida, o simplemente complementando nuestra alegría con la suya en momentos como este.

A nuestros familiares, fuentes de infinita inspiración y cálida compañía, herramientas indispensables a la hora de alcanzar grandes metas.

## **DEDICATORIA**

*Este documento es dedicado a Dios por su ayuda y bendiciones, a mi madre por su apoyo incondicional y por siempre confiar en mis capacidades, a mi padre por enseñarme a estudiar con esfuerzo.*

***César Eduardo Gómez Sánchez***

*Doy gracias Dios por toda su ayuda y este trabajo se lo dedico a mi madre y a mi padre por el apoyo, y a todos ellos por la vida.*

***Henson Alberto Medina Castillo***

---

---

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	18
1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	20
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	20
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA .....	20
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	21
1.3.1 Objetivos Generales .....	21
1.3.2 Objetivos Específicos .....	21
2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	23
2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIORREACTOR MULTIPROPOSITO.....	23
2.1.1 Especificaciones de producción de n-butanol del biorreactor.....	25
2.1.2 Metodología De Diseño Mecánico.....	25
2.1.3 Parámetros De Diseño .....	26
3 GENERALIDADES DE LOS BIO-REACTORES.....	27
3.1.1 Clasificación de los biorreactores.....	28
3.2 SISTEMAS DE AGITACIÓN EMPLEADOS EN FERMENTADORES.....	33
3.2.1 Fermentadores de tanque agitado .....	33
3.3 CAMBIO DE ESCALA DEL PROCESO.....	34
4 SELECCIÓN MODO DE OPERACIÓN DEL FERMENTADOR .....	35
4.1 ESPECIFICACIONES DEL FERMENTADOR ESCALA PILOTO LABORATORIO (50 L).....	37
4.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL FERMENTADOR.....	38
4.2.1 Sistema de enfriamiento.....	38
4.2.2 Distribución de orificios en el fermentador.....	39
4.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN .....	39
4.3.1 Aceros Inoxidables Austeníticos Serie 300 .....	40
5 DISEÑO MECÁNICO .....	43

5.1.1 Cuerpo del biorreactor .....	43
5.1.2 Dimensionamiento del Cuerpo del Biorreactor .....	43
5.1.3 Configuración geométrica del fermentador .....	45
5.2 CRITERIO DE CAMBIO DE ESCALA .....	48
5.2.1 Cálculo de potencia y velocidad de agitación.....	48
6 DISEÑO DE DETALLE .....	54
6.1 TANQUE INTERNO CON CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DE REACCIÓN MÁXIMA DE 50 LITROS.....	54
6.1.1 Cálculo espesor de la lámina para presión interna cuerpo principal .....	55
6.1.2 Cálculo espesor de la lámina para presión externa cuerpo principal.....	56
6.2 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR CHAQUETA.....	57
6.3 TAPA DEL TANQUE INTERNO CON SELLO MECÁNICO.....	58
6.4 SISTEMA DE AGITACIÓN.....	62
6.4.1 Baffles.....	63
6.4.2 Eje motriz principal.....	64
6.4.3 Agitadores tipo turbinas Rushton .....	64
6.4.4 Cortador de espuma .....	65
6.4.5 Canasta de sensores .....	66
6.4.6 Dispensador de gas tipo Sparger .....	67
6.5 PORTA MOTOR Y OREJA DE ELEVACIÓN.....	67
6.6 ESTRUCTURA DE SOPORTE TIPO TRÍPODE.....	73
6.7 PROCESO DE SIMULACIÓN.....	76
6.8 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE.....	79
7. SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.....	83
7.1 LAZO DE TEMPERATURA .....	85
7.2 DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.....	89
7.2.1 NI CompactDAQ- 9174.....	89
7.2.2 Controladores .....	94
7.2.3 Actuadores .....	94

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....91  
ANEXOS.....99

---

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Biorreactor de columna.....	30
Figura 2. Biorreactor de lecho.....	31
Figura 3. <i>Biorreactores agitados</i> - Recirculación .....	32
Figura 4. <i>Biorreactores agitados</i> - Sin circulación .....	32
Figura 5. Componentes de Diseño de un Biorreactor de Tanque Agitado .....	36
Figura 6. Modelo conceptual del Biorreactor Diseñado .....	37
Figura 7. Las principales relaciones adimensionales que se utilizan en tanques agitados..	43
Figura 8. Principales cotas para el diseño del biorreactor .....	46
Figura 9. Relaciones geométricas del fermentador 50 L (volumen de trabajo) .....	47
Figura 10. Correlación numero de Reynolds contra número de potencia .....	51
Figura 11. Tanque interno.....	54
Figura 12. Chaqueta.....	58
Figura 13. Ancho efectivo del sello.....	60
Figura 14. Tapa del tanque .....	62
Figura 15. Baffles .....	63
Figura 16. Sistema de agitación.....	64
Figura 17. Eje.....	64
Figura 18. Agitador tipo Rushton.....	65
Figura 19. Cortador de espuma.....	65
Figura 20. Canasta de sensores .....	66
Figura 21. Sparger .....	67
Figura 22. Portamotor y oreja de elevación.....	69
Figura 23. Ensamble portamotor-oreja de elevación y tapa biorreactor .....	69
Figura 24. Zona de soldadura sometida a flexión .....	71
Figura 25. Sección transversal de soldadura de filete .....	71
Figura 26. Perfil estructural-soporte biorreactor .....	75

Figura 27. Carga critica pandeo de columna.....	76
Figura 28. Simulación de los recipientes sometidos a presión. ....	77
Figura 29. Simulación de la tapa tipo brida.....	78
Figura 30. Simulación oreja de elevación – soporte biorreactor .....	78
Figura 31. Diseño final del biorreactor.....	79
Figura 32. Corte y elementos del biorreactor .....	80
Figura 33. Fotografías del biorreactor construido. tanque y motor .....	81
Figura 34. Fotografías del biorreactor construido. Canasta, acople y drenaje .....	81
Figura 35. Fotografías de baffles y sistema de agitación.....	82
Figura 36. Sistema de control de temperatura .....	84
Figura 37. Componentes del control de temperatura .....	84
Figura 38. Interfaz Labview control de temperatura .....	86
Figura 39. Ejemplo de la respuesta de un PWM en LabVIEW .....	87
Figura 40. Respuesta de un sistema de control con relé .....	88
Figura 41. Tarjeta cDAQ.....	89
Figura 42. NI cDAQ 9174 Chassis.....	90
Figura 43. Asignaciones de Pin de NI 9401 .....	91
Figura 44. Asignación de terminales de NI 9265 .....	93
Figura 45. Controlador de Temperatura TZN4S .....	94
Figura 46. Válvula solenoide de agua .....	95

---

---

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de diseño .....	26
Tabla 2. Ventajas y desventajas de tres tipos de fermentadores.....	28
Tabla 3. Intervalos de operación de agitadores con respecto a la viscosidad.....	34
Tabla 4. Condiciones de operación del fermentador .....	38
Tabla 5. Materiales de construcción recomendados para las partes fermentador .....	40
Tabla 6. Relación de dimensiones estándares de fermentadores .....	45
Tabla 7. Relaciones geométricas para el fermentador a diseñar.....	46
Tabla 8. Dimensiones de las principales cotas del biorreactor a diseñar .....	47
Tabla 9. Valores de diámetro de turbina y velocidad de agitación.....	48
Tabla 10. Relaciones para el criterio de cambio de escala .....	49
Tabla 11. Potencia y Velocidad de agitación para fermentador (50 L) .....	50
Tabla 12. Relaciones para el Cálculo de la Potencia de Agitación .....	52
Tabla 13. Carga soportadas por las soldaduras .....	70
Tabla 14. Carga soportadas los soportes.....	74
Tabla 15. NI cDAQ 9174 LEDs de estado .....	90
Tabla 16. Actuadores de las salidas digitales .....	92

---

---

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO INOXIDABLE .....	100
ANEXO B. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN .....	101
ANEXO C. VISTA EXPLOSIONADA.....	112
ANEXO D. PROTOCOLOS DE PREPARACIÓN Y DESCARGA DEL FERMENTADOR .....	113
ANEXO E. FICHA TÉCNICA DEL MOTOR-REDUCTOR SEW R17 .....	116
ANEXO F. VALORES DEL FACTOR A Y FACTOR B -PRESIÓN EXTERNA. ....	118
ANEXO G. SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SELLO .....	120
ANEXO H. PROPIEDADES DE LOS TORNILLOS Y TUERCAS SELECCIONADAS .....	125
ANEXO I. ELECTRODOS SOLDADURA ACEROS INOXIDABLES .....	127
ANEXO J. DIMENSIONES PERFIL ESTRUCTURAL L.....	129
ANEXO K. DIAGRAMA DE BLOQUES LABVIEW .....	130

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO MECÁNICO Y CONSTRUCCIÓN DE BIORREACTOR PARA LA FERMENTACIÓN DE GLUCOSA HASTA n-BUTANOL\*

**AUTORES:** CÉSAR EDUARDO GOMÉZ SÁNCHEZ  
HENSON ALBERTO MEDINA CASTILLO\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Diseño, Construcción, Biorreactor, Fermentador, Fermentación Acetona-Butanol-Etanol (ABE), Combustibles.

### DESCRIPCIÓN:

La producción de butanol es una opción competente para sustituir los combustibles fósiles ya que posee mayor poder calórico que el etanol y puede utilizarse sin modificación alguna en los motores convencionales. La fermentación ABE (acetona-butanol-etanol) es el proceso tradicional para la obtención de butanol, sin embargo, se forman numerosos subproductos y se presenta un bajo rendimiento de solventes. Para superar las desventajas del proceso se deben realizar investigaciones a diferentes escalas de producción y bajo una estrategia de control eficiente. El propósito de este trabajo fue hacer el diseño mecánico de un biorreactor tipo Batch multipropósitos (volumen de reacción de trabajo 50L) para la producción de n-Butanol a partir de glucosa mediante el uso de la bacteria *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824. El diseño operacional se basó en un modelo cinético para la fermentación ABE. Este modelo fue ajustado usando datos experimentales (concentración de metabolitos mayores formados en el proceso) desde un biorreactor de pequeña escala (volumen de trabajo del reactor 2L). El diseño mecánico se basó en similitudes geométricas para diferentes tipos de reactores para obtener un diseño flexible que pudiese ser adaptado para diferentes procesos (anaerobios, aerobios y facultativos).

Este trabajo es parte del macroproyecto en áreas estratégicas “Escalamiento de los Procesos de Producción de Bio-alcoholes y Procesamiento de Subproductos Provenientes de la Producción de Biocombustibles por Vía Fermentativa” código 5452, apoyado por la Vicerrectoría de Investigación y extensión de la Universidad Industrial de Santander y desarrollado por el grupo de investigación en Bioquímica y Microbiología en colaboración con el Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA).

---

\*Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director MSc. Jabid Eduardo Quiroga Méndez

## ABSTRACT

**TITLE:** MECHANICAL DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BIOREACTOR FOR GLUCOSE FERMENTATION TO n-BUTANOL \*

**AUTHORS:** CÉSAR EDUARDO GOMÉZ SÁNCHEZ  
HENSON ALBERTO MEDINA CASTILLO\*\*

**KEY WORDS:** Design, Construction, Bio-reactor, Acetone-Butanol-Etanol (ABE), fuels.

### DESCRIPTION:

The production of butanol is a promising alternative to replace fossil fuels due to its higher caloric power in comparison with ethanol, and also it can be used without modifications in conventional engines. The ABE (Acetone-Butanol-Ethanol) fermentation is the traditional process to obtain butanol however, it forms many sub-products and has low yield of these solvents. To overcome the disadvantages of this process it must be researched in different scales of production and used with efficient control strategic. The objective of this project is to design and install a monitoring and control system in a laboratory-pilot scale batch fermentor (50 liters) for the production of butanol using the microorganism *Clostridium Acetobutylicum* ATCC 824. The aim of this work was the conceptual design of a batch multipurpose bioreactor (working reactor volume 50L) for n-butanol production from glucose using *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824. Operational design was based on a kinetic model of rigorous process for the fermentation ABE. This model was adjusted and validated using experimental data (concentrations of major metabolites formed in the process) from a small-scale bioreactor (working reactor volume 2L). On the other hand, the mechanical design was based on geometrical similarities for different types of bioreactor in order to obtain a flexible design which can be adapted for several processes (anaerobics, aerobics, and facultatives). In addition, the selection of the agitation system, the cooler system, distribution of holes accessories and materials was carried out.

This work is a part of a bigger project in strategic areas “Escalamiento de los Procesos de Producción de Bioalcoholes y Procesamiento de Subproductos Provenientes de la Producción de Bio combustibles por Vía Fermentativa” code 5452, supported by the Dean of Research and Extension of the Universidad Industrial de Santander and developed by the Research group in Biochemistry and Microbiology in collaboration with the Research Center of Science and Food Technology (CICTA).

---

\*Thesis

\*\*Physical-Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Director MSc. Jabid Eduardo Quiroga Méndez

---

---

## INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de fuentes de energías amigables con el medio ambiente hace de los biocombustibles (etanol, n-butanol, biodiesel, etc.) una alternativa promisoría para el suministro de energía en una sociedad cada día más exigente en lo que se refiere a las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. En el caso de Suramérica, Colombia es el tercer productor de biocombustibles después de Brasil y Argentina [1].

En Colombia los biocombustibles son mezclados con la gasolina (en el caso del etanol) y con diesel (en el caso del biodiesel) provenientes de la refinerías de petróleo. Sin embargo, la adición de éstos, tiene ciertos efectos negativos en algunas propiedades de la mezcla combustible. Por ejemplo, la adición del etanol a la gasolina derivada del petróleo tienen un impacto negativo en la estabilidad de la mezcla combustible debido al alto octanaje y volatilidad del etanol. Como alternativa, se puede emplear el n-butanol, dado que posee mejores propiedades como combustible que el etanol. Adicionalmente, presenta baja volatilidad (la presión de vapor del butanol es 7,5 veces menor que la del etanol), mayor contenido energético (similar al de la gasolina), es menos higroscópico y corrosivo [2]. Estas razones hacen atractiva la producción de butanol para su uso como alternativa en la mezcla de gasolina derivada de petróleo con biocombustibles. El n-butanol puede obtenerse a partir de procesos fermentativos, empleando materias primas renovables como maíz, trigo, hidrolizado de yuca, jarabes de glucosa, entre otros [3].

La fermentación acetona-butanol-etanol (ABE) realizada por cepas del género *Clostridium* a partir de hidrolizados de almidón es el proceso biotecnológico tradicional a gran escala para la obtención de biobutanol. Sin embargo la viabilidad económica se ve comprometida debido a aspectos negativos como el uso de sustratos (almidón, azúcar) de alto costo que compiten con la demanda alimenticia, la formación de numerosos subproductos, el bajo rendimiento de solventes por el efecto de toxicidad o inhibición sobre el crecimiento celular

(especialmente por butanol) y los altos requerimientos energéticos para la recuperación del butanol por destilación [4].

La búsqueda de métodos alternativos que permitan superar las desventajas propias de la producción a nivel industrial del proceso de fermentación ABE requiere en primer lugar, un estudio sobre el comportamiento del mismo y su uso bajo una estrategia de control eficiente a diferentes escalas de producción (laboratorio, planta piloto, planta industrial) [6], para llevar a cabo los análisis de modelamiento y las pruebas experimentales necesarias que den paso a establecer los mejores mecanismos y las condiciones óptimas de obtención de butanol.

En consideración a lo anteriormente expuesto, en este trabajo se realizó el diseño de un fermentador *batch* (multipropósito) para la producción de n- butanol a partir de glucosa utilizando el microorganismo *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824. Se contempló el diseño operacional y el diseño mecánico. Aquí se presenta las generalidades del proceso y se describe la metodología empleada, los resultados y análisis, y finalmente las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

# 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El biocombustible n-Butanol se presenta como una de las opciones más prometedoras para reemplazar los combustibles fósiles, esto solo es posible al lograr mayores eficiencias en su obtención, lo cual permitiría competir con el precio actual de la gasolina.

Debido al creciente uso de biocombustibles como alternativa y complemento de los combustibles fósiles, las grandes empresas del sector energético se han visto obligadas a utilizar todas las posibilidades a su alcance. Una de ellas es el butanol, un alcohol semejante al etanol pero con dos carbonos más y mejores propiedades energéticas.

Su comercialización no está implementada en masa debido a su ineficiente obtención, por lo cual no compite actualmente con el precio de la gasolina, motivo por el que se hace necesario incentivar y realizar estudios en plantas piloto para mejorar la eficiencia en la obtención de este biocombustible.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En Colombia se utiliza en mayor proporción etanol como combustible alternativo, aunque el butanol posee mejores propiedades de combustión, fácil mezclado con la gasolina y es menos corrosivo. A pesar de no estar optimizado el proceso, el butanol se puede obtener de forma similar al etanol convirtiéndolo como un sustitutivo real de la gasolina.

El butanol podría ser el combustible del futuro "bio-butanol", se puede obtener de fuentes vegetales como también de la refinería del petróleo. Actualmente en Colombia se usa mayoritariamente el etanol, aunque el butanol presenta mayores ventajas frente a este, algunas son:

- Alcanza el 95% de energía que el mismo volumen de gasolina, mientras que el etanol no pasa del 75%.
- Se puede mezclar con la gasolina convencional, sin tener que hacer adaptaciones en los vehículos, en una proporción mayor que el etanol.
- Tolera mejor la contaminación por agua y es menos corrosivo que el etanol, por lo que se puede mezclar directamente con la gasolina en la refinería y enviarlo por las mismas infraestructuras petroleras de transporte, algo que no es posible con el etanol.

En dado caso que la producción de butanol se realizara de manera competitiva, tendríamos un biocombustible capaz de ser mezclado con la gasolina y posteriormente un sustitutivo para esta.

## **1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

### **1.3.1 Objetivos Generales**

- ✓ Continuar con la misión de la universidad en su empeño de formar profesionales que contribuyan al avance del conocimiento, al desarrollo de la ciencia, de la tecnología y de la cultura humana.
- ✓ Fortalecer y aportar a las líneas de investigación sugeridas por la escuela de ingeniería mecánica en el área de energías alternativas.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Realizar un diseño mecánico y construcción de un Biorreactor tipo Bach para producir n-Butanol con base a la fermentación de glucosa, para una capacidad de

reacción múltiple, en los rangos de 40-25 litros, 25-10 litros, 10 -1 litros, con los siguientes componentes:

- Sistema de enfriamiento por chaqueta.
  - Tanque interno con capacidad volumétrica máxima de 50 litros.
  - Tapa del tanque interno con sello mecánico.
  - Estructura de soporte tipo trípode.
  - Eje motriz principal.
  - Agitadores tipo turbinas Rusthon.
  - Cortador de espuma.
  - Dispensador de CO<sub>2</sub> tipo Sparger.
  - Sistema de Baffles.
  - Estructura modular de control.
- 
- ✓ Diseñar e implementar el sistema de automatización y control de temperatura del biorreactor.
  - ✓ Diseñar las prácticas para la caracterización del rendimiento de producción.
  - ✓ Elaborar el manual de instrucción de montaje y desmontaje para limpieza y mantenimiento del equipo.

## 2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En referencia al problema citado, se concibe la opción de realizar un estudio de viabilidad en la producción del nuevo biocombustible. Esto se realiza en tres etapas:

- Etapa de laboratorio
- Etapa de planta piloto
- Escalado industrial

Entrando primeramente a la etapa de laboratorio, se seleccionan el tipo de bacterias y otros parámetros propios del proceso de fermentación, esta etapa es realizada por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander.

En la fase de etapa piloto, se busca mediante la producción de n-butanol revisar las cantidades, porcentajes de productos y tiempos de obtención logrados y así posteriormente analizar la viabilidad económica de una posible producción en masa, sin necesidad de invertir gastos excesivos. En esta etapa se justifica la realización del diseño mecánico y la construcción de un biorreactor que cumpla con los requerimientos propuestos (ver Tabla 1) para la producción de n-butanol a partir de la fermentación de glucosa. Los resultados de estas dos etapas iniciales dan lugar a la tercera y última etapa.

### 2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BIORREACTOR MULTIPROPOSITO

El diseño de biorreactores es una tarea de ingeniería bastante compleja. Los microorganismos o células son capaces de realizar su función deseada con gran eficiencia bajo condiciones óptimas. Las condiciones ambientales de un biorreactor tales como flujo de gases (por ejemplo, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.), temperatura, pH, oxígeno disuelto y velocidad de agitación o circulación, deben ser cuidadosamente monitoreadas y controladas.

La mayoría de los fabricantes industriales de biorreactores usan recipientes, sensores, controladores y un sistema de control interconectados para su funcionamiento en el sistema de biorreacción.

La misma propagación celular (fenómeno conocido en inglés como *Fouling*) puede afectar la esterilidad y eficiencia del biorreactor, especialmente en los intercambiadores de calor. Para evitar esto, el biorreactor debe ser fácil de limpiar y con acabados lo más sanitario posible (de ahí sus formas redondeadas).

Se requiere de un intercambiador de calor para mantener el bioproceso a temperatura constante. La fermentación biológica es una fuente importante de calor, por lo que en la mayor parte de los casos, los biorreactores requieren de agua de enfriamiento. Pueden ser refrigerados con una chaqueta externa o, para recipientes sumamente grandes, con serpentines internos.

En un proceso aerobio, la transferencia óptima de oxígeno es tal vez la tarea más difícil de lograr. El oxígeno se disuelve poco en agua (y aún menos en caldos fermentados) y es relativamente escaso en el aire (20,8%). La transferencia de oxígeno usualmente se facilita por la agitación que se requiere también para mezclar los nutrientes y mantener la fermentación homogénea. Sin embargo, existen límites para la velocidad de agitación, debidos tanto al alto consumo de energía (que es proporcional al cubo de la velocidad del motor) como al daño ocasionado a los organismos debido a un esfuerzo de corte excesivo.

Los biorreactores industriales usualmente emplean bacterias u otros organismos simples que pueden resistir la fuerza de agitación. También son fáciles de mantener ya que requieren sólo soluciones simples de nutrientes y pueden crecer a grandes velocidades.

En los biorreactores utilizados para crecer células o tejidos, el diseño es significativamente distinto al de los biorreactores industriales. Muchas células y tejidos, especialmente de mamífero, requieren una superficie u otro soporte estructural para poder crecer y los ambientes agitados son comúnmente dañinos para estos tipos de células y tejidos.

### **2.1.1 Especificaciones de producción de n-butanol del biorreactor**

Con el diseño y la construcción del biorreactor con un volumen de 50 litros se entra en la etapa piloto de producción de n-butanol donde se busca por medio de pruebas experimentales de fermentación ABE (acetona, butanol, etanol) de glucosa validar el modelo cinético de escala reducida establecido por la escuela de Ingeniería Química por medio de un biorreactor de 2 litros, etapa de laboratorio (ROJAS, Cindy, y GONZALEZ, Nancy. *Diseño conceptual de un fermentador de glucosa empleando Clostridium acetobutylicum ATCC 824. Tesis de Grado. Escuela de Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander. 2011*).

Los resultados obtenidos de la etapa de laboratorio son utilizados para evaluar los parámetros y determinar los requerimientos de diseño para el escalamiento del proceso de fermentación de glucosa en el biorreactor de 50 litros. Los resultados obtenidos en esta etapa piloto en cuanto a producción de n-butanol se transfieren al cambio de escala del proceso que permitirá crear la metodología para la producción de n-butanol en escala industrial.

### **2.1.2 Metodología De Diseño Mecánico**

Los cálculos mecánicos, térmicos y de flujo, serán evaluados en tres etapas:

1. Mediante el uso de análisis de elementos finitos con un software especializado en diseño mecánico, (SolidWorks Premium sp5. 2012).
2. Con los datos obtenidos se realizara la simulación y se realizara la validación al compararlos con las Normas de recipientes a presión código ASME sección VIII-1, VIII-2 en la revisión de espesores y la ANSI B16.5, AWWA 207-55 para las bridas mayores de 6 pulgadas.

3. Revisión final por parte del equipo de ingenieros expertos en la construcción del biorreactor, empresa *Industrias Acuña Limitada*.

### 2.1.3 Parámetros De Diseño

Los parámetros de diseño a tener en cuenta se especifican en la siguiente tabla, estos valores son proporcionados por los estudiantes de ingeniería química los cuales han trabajado en el diseño conceptual del biorreactor “Diseño conceptual de un fermentador para la producción de n-Butanol a partir de glucosa empleando *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824”.

Tabla 1. Parámetros de diseño

PARAMETRO	MAGNITUD	UNIDAD
CAPACIDAD VOLUMETRICA	57	L
PRESION DE DISEÑO	300	KPa
VELOCIDAD EJE DE POTENCIA	50-500	RPM
TEMPERATURA INTERNA	37	°C
VOLUMEN	0.056	m <sup>3</sup>
FACTOR DE SEGURIDAD	1.5	N/D

### 3. GENERALIDADES DE LOS BIO-REACTORES

Un biorreactor o fermentador, es un recipiente o sistema, que mantiene un ambiente biológicamente activo. Actualmente el término fermentador o biorreactor pueden ser considerados como sinónimos [5]. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos, las tareas que debe desempeñar un biorreactor se resumen en:

- Mantener las células uniformemente distribuidas en todo el volumen de cultivo.
- Mantener constante y homogénea la temperatura.
- Minimizar los gradientes de concentración de nutrientes.
- Prevenir la sedimentación y la floculación.
- Permitir la difusión de gases nutrientes a la velocidad requerida por el cultivo.
- Mantener el cultivo puro.
- Mantener un ambiente aséptico.
- Maximizar el rendimiento y la producción.
- Minimizar el gasto y los costos de producción.
- Reducir al máximo el tiempo.

La eficiencia de un fermentador depende de la concentración de biomasa, el mantenimiento de las condiciones asépticas, la transferencia de masa y energía, y del mantenimiento de las condiciones óptimas de operación [5] [6].

Los fermentadores se distinguen por su configuración y diseño. En la Tabla 2, se mencionan algunas ventajas y desventajas de tres tipos de fermentadores usualmente utilizados.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de tres tipos de fermentadores

TIPO FERMENTADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tanque Agitado	Flexible y adaptable. Amplia intensidad de mezclado. Maneja medios de alta viscosidad.	Alto consumo de energía. Destrucción de las células sensibles al cizallamiento.
Columna Burbuja	Simple, no posee partes móviles. Bajo costo. Alta concentración de células.	No garantiza un buen mezclado. Excesiva formación de espuma. Limitado a sistemas de baja viscosidad.
Air Lift	Simple, no posee partes móviles. Buena transferencia de calor. Alta eficiencia absorción de gas	No garantiza un buen mezclado. Excesiva formación de espuma. Limitado a sistemas de baja viscosidad.

Fuente: ALBRIGHT, Lyle (ed.). Albright's chemical engineering handbook. CRC Press, 2008.

### 3.1.1 Clasificación de los biorreactores

#### 3.1.1.1 Clasificación operativa

Tanto biorreactores como fermentadores se clasifican de acuerdo al modo de operación:

- **Operación Discontinua:** Se inicia con la inoculación de un medio pre-esterilizado dentro de un reactor que ofrezca un buen mezclado. El volumen del medio permanece prácticamente constante, exceptuando pérdidas mínimas por evaporación.
- **Operación Continua:** La fermentación empieza como en el cultivo discontinuo y cambia a una alimentación continua cuando se ha obtenido una concentración adecuada de biomasa. La velocidad de alimentación es constante y el volumen del medio no cambia ya que los productos se obtienen a la misma velocidad de alimentación.
- **Operación Semi-continua:** También conocida como fed-batch, puede considerarse una combinación de las dos operaciones anteriores, en este caso el biorreactor trabaja por lotes durante un tiempo y cuando el sustrato limitante del crecimiento

es agotado el fermentador es alimentado nuevamente, por lo que el volumen del medio se incrementa con el tiempo.

### 3.1.1.2 Clasificación biológica

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

- Anaeróbico
- Aeróbico

Los bioprocesos de cultivo y las fermentaciones están basados en el metabolismo celular del cultivo. El metabolismo define los parámetros y características operativas-biológicas de diseño y de operación del biorreactor. Estas características son las que intervienen en la parte biológica del sistema y tienen que ver con el crecimiento, productividad y rendimiento del cultivo; por lo que, definen la clasificación biológica-procesal del sistema de cultivo.

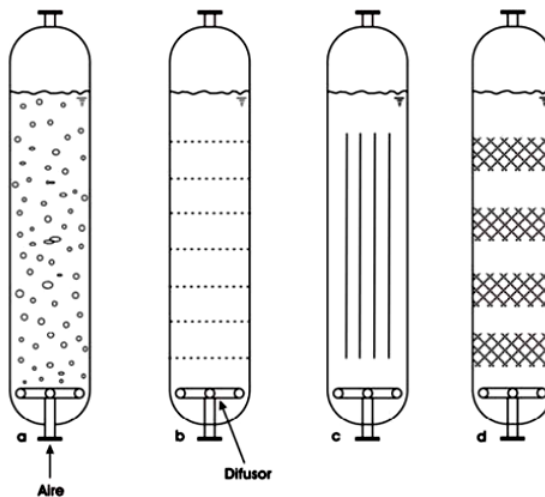
### 3.1.1.3 Clasificación según la Forma

Existen biorreactores que utilizan agitación mecánica, algunos que aprovechan el aire de suministro con fines de mezclado, los que utilizan el bombeo de parte del mismo medio para el mezclado, otros de tipo lecho ya sea fijo o fluidizado y por último están los biorreactores de membrana. A continuación se realiza una breve descripción de los biorreactores más comunes.

- ***De lecho fijo o empaquetado:*** Los microorganismos se encuentran en una matriz empaquetada. Por lo general, la alimentación se produce de forma vertical en sentido ascendente.

- **En columna de burbujas:** El sustrato es el medio líquido en el que están inmersas las células, aportándose éste por la parte inferior del reactor. Se insufla gas comprimido por la parte inferior que, junto con una serie de bucles externos, permite homogeneizar el interior del reactor, suprimiendo posibles gradientes.
- **De lecho fluidizado:** No son muy corrientes, dados su alto costo y complejidad. El microorganismo permanece suspendido (debido a burbujeo continuo, lo que no es fácil de conseguir) en el fermentador, como consecuencia del sustrato líquido ascendente.
- **De lecho de goteo:** Son los más tradicionales (similares a los de lecho fijo). El sustrato se hace pasar lentamente por la matriz empaquetada que contiene al micro-organismo (un proceso semi-continuo, aunque permiten trabajar también en discontinuo), lo que supone la consideración de un tiempo de residencia en dicha matriz.

Figura 1. Biorreactor de columna

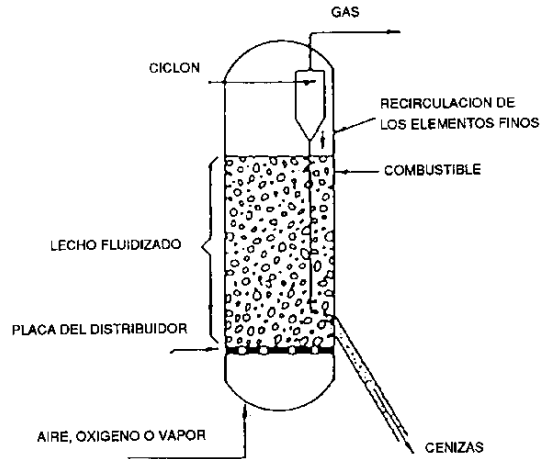


Fuente: ERTOLA, Rodolfo et. al. Microbiología Industrial, Monografía 1994.

- **De enzimas o células inmovilizadas:** Son los más interesantes y novedosos. Los de enzimas presentan grandes ventajas, pero es difícil aislar la enzima que nos

interesa. Permiten reutilizar continuamente el biocatalizador, disminuyendo los costos. Dicha inmovilización puede efectuarse por medios físicos (adsorción, el más usado, o atrapamiento mecánico en matriz o membrana) o químicos (enlaces covalentes). Presentan el inconveniente de que, dado que las células pueden participar en varios procesos fermentativos, aumenta la inestabilidad genética

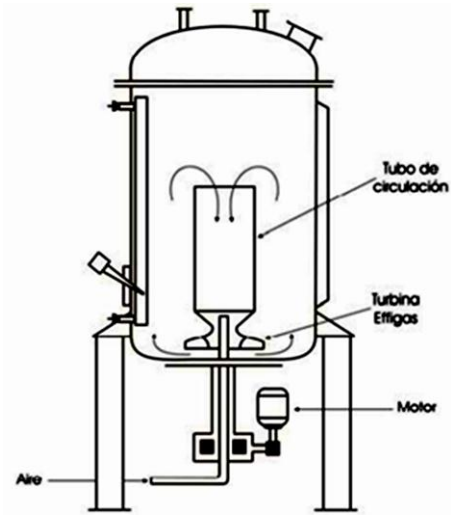
Figura 2. Biorreactor de lecho



Fuente: ETORLA, Rodolfo et. al. Microbiología Industrial, Monografía 1994.

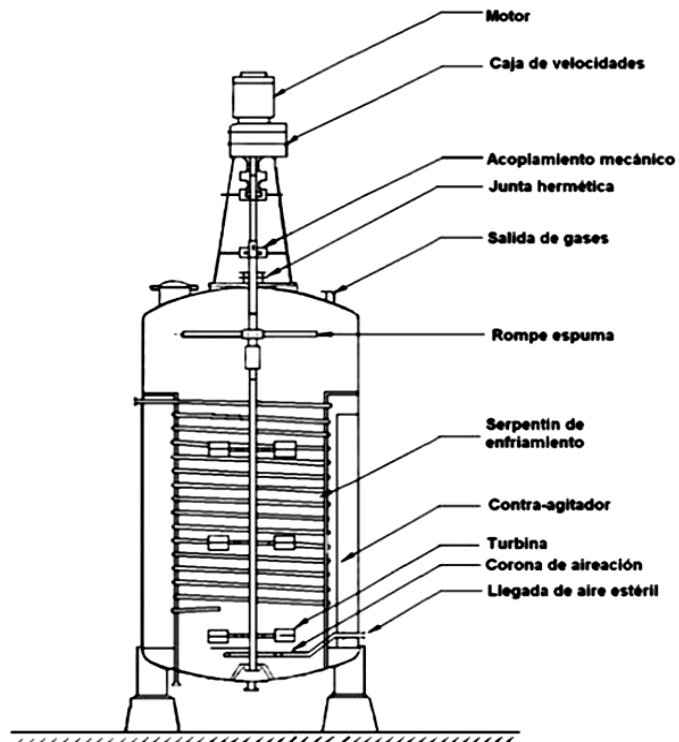
- **Biorreactores agitados:** son los más empleados en todas las escalas de producción, en laboratorios de investigación o en la industria de fermentaciones, pueden utilizarse incluso en procesos en los que exigen altas velocidades de transferencia de calor y masa. Estos biorreactores pueden ser:
  - ✓ *Recirculación interna:* se utiliza un cilindro en el interior del tanque en el cual el líquido de fermentación se introduce por la parte superior y sale por la parte inferior, el fluido de movimiento arrastra las burbujas de gas mejorando la transferencia de oxígeno.
  - ✓ *Sin circulación interna:* son convenientes para la producción de antibióticos, por tratarse, generalmente, de procesos exotérmicos que utilizan microorganismos filamentosos relativamente frágiles y sensibles a la acción de corte y cuyas necesidades de oxígeno no son muy grandes.

Figura 3. Biorreactores agitados - Recirculación



Fuente: ETORLA, Rodolfo et. al. Microbiología Industrial, Monografía 1994.

Figura 4. Biorreactores agitados - Sin circulación



Fuente: ETORLA, Rodolfo et. al. Microbiología Industrial, Monografía 1994.

## **3.2 SISTEMAS DE AGITACIÓN EMPLEADOS EN FERMENTADORES**

La agitación es un factor clave en el diseño de los fermentadores, pues con ella se logra la homogeneidad de la mezcla reaccionante y se favorecen los fenómenos de transferencia de masa y energía incrementando la conversión en el fermentador [7]. En algunos casos la agitación se garantiza con el burbujeo de aire (sistemas aerobios), mientras que en otras ocasiones (sistemas anaerobios y algunos aerobios) se utilizan agitadores mecánicos [7] [8].

### **3.2.1 Fermentadores de tanque agitado**

Este tipo de fermentadores es muy empleado en todas las escalas de producción. Generalmente, constan de un recipiente cilíndrico cerrado en su parte superior con una tapa que puede ser elipsoidal o semiesférica y suelen ser diseñados con el fondo redondeado para eliminar zonas de estancado [5]. Habitualmente sólo 70-80% del volumen del fermentador se llena con líquido [9]. El mezclado se debe al movimiento rotatorio de los agitadores unidos a un eje situado concéntricamente con el recipiente (eje de potencia); éste eje es accionado con un motor [7].

La selección del tipo de agitador depende de varios factores, en especial la viscosidad del fluido y la sensibilidad del sistema al esfuerzo de corte [6] [7] [8]. En la Tabla 3 se muestran los intervalos de viscosidad para diferentes agitadores. Asimismo, el número de agitadores depende del volumen de trabajo del fermentador [10] [11].

Tabla 3. Intervalos de operación de agitadores con respecto a la viscosidad

TIPO DE AGITADOR	TIPO DE AGITADOR (PATRÓN DE FLUJO GENERADO)	INTERVALO VISCOSIDAD (mPa s)
Turbinas	Flujo radial	1 - 50.000
Propelas	Flujo axial	1 - 10.000
Ancla	Flujo radial	100 - 5.000
Paletas	Flujo radial	100 - 50.000
Tornillo helicoidal	Flujo axial	5.000 - 500.000
Cinta helicoidal	Flujo axial	10.000 - 5'000.000

Para mejorar la agitación de fluidos poco viscosos ( $\mu < 5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ) se instalan baffles (deflectores) en el tanque [5] [11]. Los baffles son segmentos verticales de metal, están ubicados radialmente a lo largo de la pared del tanque. Se utilizan tres, cuatro o seis deflectores por recipiente dependiendo del diámetro del tanque. La ausencia de baffles, puede dar lugar a la formación de vórtices [11].

En los fermentadores de tanque agitado es importante tener en cuenta el diseño del dispositivo (sparger) de entrada de gases (aire, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.) al medio, debido a que con éste se garantiza las condiciones aerobias o anaerobias que se requieran en el proceso [12] [13].

Un problema a menudo en los sistemas aireados es la formación de espuma, la cual puede prevenirse con la adición de antiespumantes o la instalación de un cortador de espumas en la parte superior del eje de potencia [12].

### 3.3 CAMBIO DE ESCALA DEL PROCESO

Se define como el conjunto de técnicas, metodologías y procedimientos que permitan transferir a la escala industrial o planta piloto, los datos obtenidos en los experimentos a escala reducida [14] [15]. En procesos anaerobios con agitación mecánica los criterios

de cambio de escala más utilizados son:

- **Potencia por unidad de volumen:** resulta el criterio clásico de cambio de escala y permite mantener el nivel de agitación. Al momento de aplicarlo se debe tener cuidado de no sobrepasar los límites tanto de esfuerzo de corte máximo y nivel de transferencia de oxígeno mínima [14].
- **Velocidad periférica de agitación:** permite mantener la razón de cizalladura máxima en la zona del agitador y también la intensidad de mezclado. Esta variable deber ser siempre evaluada dado que se puede estar trabajando con microorganismos o micelas que no resistan esfuerzos de corte mayores que los establecidos. Al momento de escalar con otros criterios puede ocurrir que se sobrepasen los esfuerzos de corte máximo aceptable, en ese caso debe prevalecer este criterio [14].

## 4. SELECCIÓN MODO DE OPERACIÓN DEL FERMENTADOR

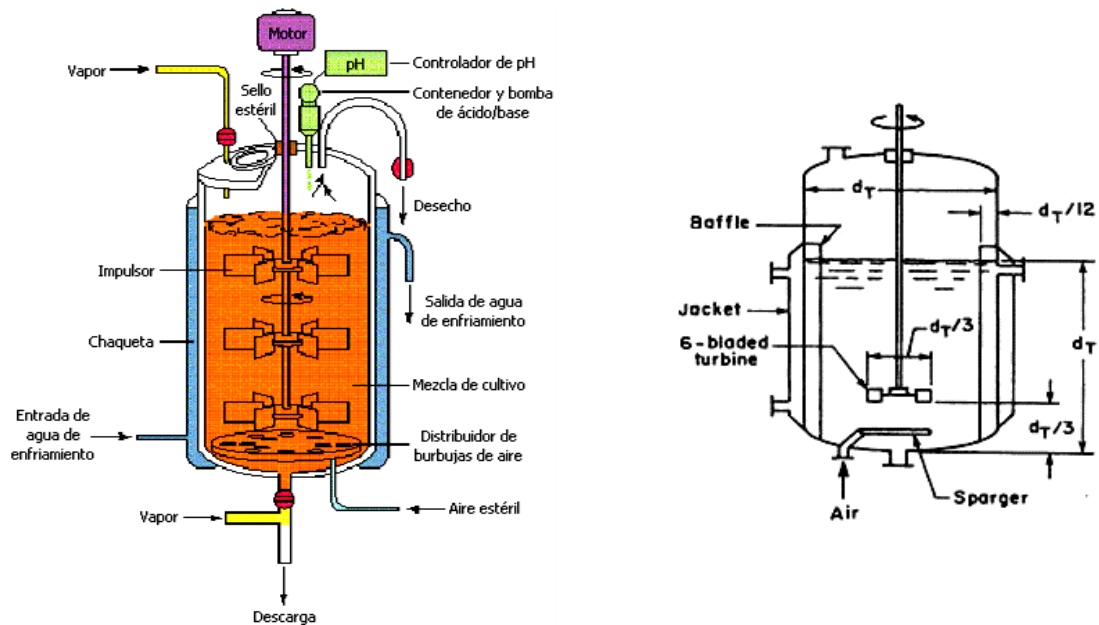
El modo de operación escogido fue discontinuo (batch) de tanque agitado con línea de aireación debido a las ventajas que ofrece en fermentaciones anaerobias, entre las que se pueden destacar; su fácil manejo y construcción, la minimización de los riesgos de contaminación por microorganismos externos y su costo de instrumentación es bajo. Trabajan en estado no estacionario y el más sencillo sería un tanque agitado. Este reactor, además de ser flexible en su uso (se le puede detener de modo fácil y rápido). Tiene la desventaja de un elevado costo en su funcionamiento y de mano de obra debido a la gran cantidad de tiempo que se pasa parado debido a la carga, descarga y limpieza; Además no siempre es posible implementar un sistema de control adecuado. Este reactor suele usarse en pequeñas producciones o pruebas piloto [8].

Un sistema de cultivo discontinuo no posee alimentación o lavado; se carga el contenido del biorreactor (tanda o lote) con el medio de cultivo y luego se inocula con el cultivo (células o microorganismos) y se deja dejar que se lleve a cabo el proceso productivo o la fermentación por el tiempo que sea necesario; el cuál se denomina tiempo de retención, hasta obtener el producto (biomasa o metabolito) [16] [17].

Para lograr el cumplimiento de objetivos descritos, un biorreactor de tipo tanque agitado, debe contar con componentes básicos en su diseño tal como se muestra en la Figura 5.

- Cuerpo del Biorreactor
- Sistema de Agitación
- Sistema intercambiador de calor
- Sistema de control

Figura 5. Componentes de Diseño de un Biorreactor de Tanque Agitado

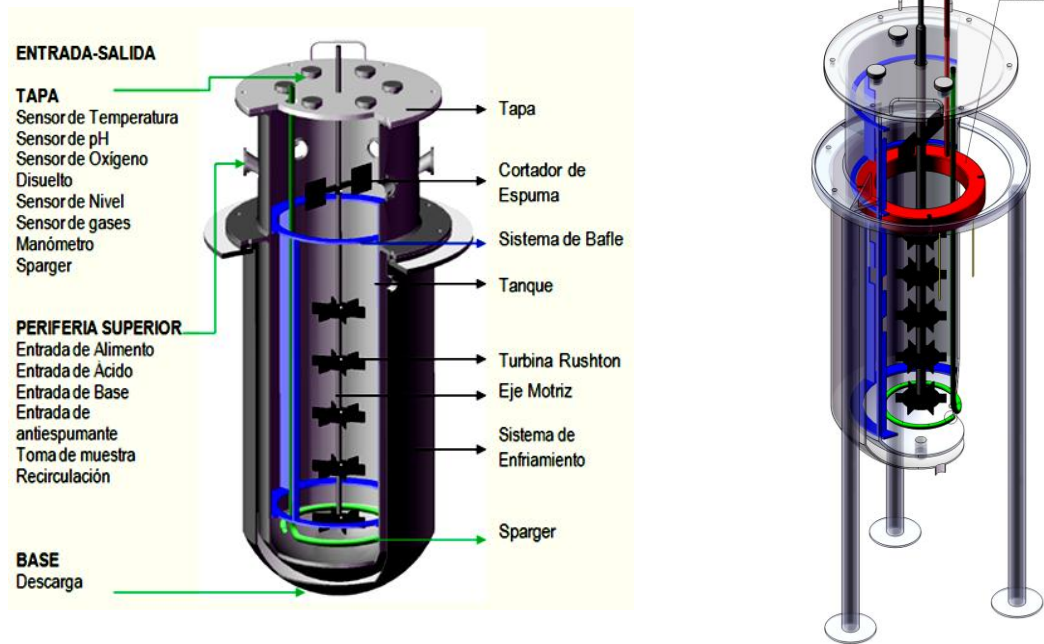


Fuente: [http://biofermt.blogspot.com/2013\\_11\\_14\\_archive.html](http://biofermt.blogspot.com/2013_11_14_archive.html)

## 4.1 ESPECIFICACIONES DEL FERMENTADOR ESCALA PILOTO LABORATORIO (50 L)

En la Figura 6 se muestran las especificaciones (partes, distribuciones de orificios, relaciones geométricas y dimensiones) del fermentador diseñado. Se recomiendan dos tipos de agitadores, una turbina tipo Rushton de seis palas paralelas al eje de agitación, para mezclar medios de baja viscosidad característicos de la fermentación ABE, y un agitador tipo hélice de tornillo para mezclar sistemas sensibles a esfuerzos de corte o cuando se requiera agitación de medios viscosos. Para asegurar homogeneidad en todo el volumen de trabajo, se recomienda instalar 5 turbinas a lo largo del eje de agitación, las cuales se encuentran ubicadas de manera equidistantes. Así mismo, se sugiere instalar cuatro baffles removibles con la finalidad mejorar el sistema de agitación y facilitar la limpieza.

Figura 6. Modelo conceptual del Biorreactor Diseñado



Para garantizar condiciones de aerobiosis y anaerobiosis en el sistema de fermentación, se recomienda utilizar un difusor tipo anillo, que consigue dispersar altos flujos de gas, a través de perforaciones en la base del tubo, sin tendencia a obstruirse, lo que resulta beneficioso en la durabilidad del dispersor. Por otro lado, es aconsejable instalar disco o pala (cortador de espuma) en la parte superior del fermentador para evitar la formación de espuma.

## 4.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL FERMENTADOR

En la Tabla 4 se muestran las condiciones de operación del fermentador diseñado. Estas condiciones fueron tomadas con base en la literatura [6] [18] y con base en diseños de fermentadores de capacidad similar [19].

Tabla 4. Condiciones de operación del fermentador

TEMPERATURA MÁXIMA	160 °C
PRESIÓN MÁXIMA	3 BAR
TEMPERATURA ESTERILIZACIÓN	130 °C
TEMPERATURA FERMENTACIÓN ABE	37 °C
PRESIÓN ESTERILIZACIÓN	1 BAR
VELOCIDAD DE AGITACIÓN	4 - 540 RPM
POTENCIA DEL AGITADOR	¼ HP

### 4.2.1 Sistema de enfriamiento

La fermentación ABE es un proceso exotérmico, por lo tanto la temperatura (37°C) debe estar controlada [20]. Lo que hace indispensable realizar un diseño del sistema de enfriamiento. Con base en lo anterior, se seleccionó una chaqueta simple como sistema de enfriamiento teniendo en cuenta los siguientes criterios [21]:

- Sistemas que requieren limpieza frecuentemente.

- Volumen del reactor menor a 1.89 m<sup>3</sup>.
- Disminución de los costos del material, pues al estar por fuera del fermentador puede fabricarse en un acero inoxidable de menor costo.
- Bajos requerimientos de energía en procesos microbiológico.

#### **4.2.2 Distribución de orificios en el fermentador**

En el diseño de los equipos, la distribución de orificios es muy importante desde el punto de vista de la instrumentación. Aquí se consideraron diferentes aspectos como: instalación de medidores de presión, sensores de temperatura, sensores de pH, sensores de nivel, inyector de gases y toma muestras. La ubicación de los diferentes orificios se hizo con base en fermentadores diseñados (capacidad similar) [19] y teniendo en cuenta el tipo de instrumento a ser instalado. Por ejemplo, los medidores de presión deben ser instalados en la parte superior, en el cual se encuentra la fase gaseosa. Para esta parte se propone una distribución con miras a diferentes modos de operación.

### **4.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

La selección de los materiales de construcción es fundamental en el diseño de un equipo de proceso. Esta depende de las condiciones de operación (temperatura, presión, pH, etc.) a las cuales estará expuesto el material. Otro aspecto importante en la selección del material son los costos de los mismos, dado que los materiales pueden elevar innecesariamente el valor final de los equipos. En este trabajo, la selección de los materiales de construcción para el sistema de reacción se basó en los dos aspectos anteriormente mencionados.

Se recomienda acero inoxidable SS316L para el tanque y los accesorios en contacto con el medio de fermentación ya que cuenta con propiedades específicas de resistencia a la corrosión que justifica su uso a pesar de su elevado costo [22]. Los materiales de construcción recomendados para el tanque, el sistema de agitación y sistema de

enfriamiento se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Materiales de construcción recomendados para las partes fermentador

PIEZA FERMENTADOR	MATERIAL
Tanque	Acero SS316 L
Sistema de enfriamiento (Chaqueta)	Acero SS304
Eje de Potencia y Agitadores	Acero SS316 L
Bafle y Dispersor de Gas	Acero SS316 L

### 4.3.1 Aceros Inoxidables Austeníticos Serie 300

Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3.5 a 22% y el de Molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. En el Anexo 1 se muestra la composición química de los principales aceros inoxidables.

Las propiedades básicas de estos aceros son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene-limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

#### 4.3.1.1 Principales aplicaciones

##### *Acero inoxidable 304*

Electrodomésticos; finalidad estructural; equipos para la industria química y naval; industria farmacéutica, industria de tejidos y papel; refinería de petróleo; permutadores de calor; válvulas y piezas de tuberías; industria frigorífica; instalaciones criogénicas; almacenes de cerveza; tanques de almacenamiento de cerveza; equipos para perfeccionamiento de harina de maíz; equipos para lácteos; cúpula del reactor de usina

atómica; tuberías de vapor; equipos y contenedores de fábricas nucleares; partes para almacenes de algunas bebidas carbonatadas; conductores descendientes del agua pluvial; coches de ferrocarril; canalones.

#### *Acero inoxidable 316L*

Piezas que demandan alta resistencia a la corrosión localizada; equipo de las industrias química, farmacéutica, textil, petrolera, papel, celulosa, caucho, nylon y tintas; cubas de fermentación; piezas de válvulas; tanques; agitadores y evaporadores, condensadores; piezas expuestas al ambiente marítimo etc.; piezas de válvulas; bombas; cuando se necesita una menor proporción de carbono que el tipo 304 para restringir la precipitación de carburos que resultan de la soldadura, especialmente cuando las partes no pueden recibir tratamiento térmico después de soldar; adornos; tanques soldados de almacenamiento de productos químicos y productos orgánicos; bandejas, recubrimiento para hornos de calcinación.

#### 4.3.1.2 Soldadura

Debido a que el acero inoxidable se expande un 50% más que el acero al carbono y su conducción de calor es muy inferior, éste tiende a combarse o torcerse al ser soldado. Para evitar tal inconveniente se debe emplear la corriente de soldadura más baja posible o soldar a mayor velocidad. El uso de un respaldo de cobre ayudará mucho a disipar el calor y evitar las distorsiones.

A continuación se detalla una lista de las principales recomendaciones para la soldadura de estos aceros:

1. Usar electrodos con porcentajes extra bajos en carbono (0.03% max.).
2. Limpiar cuidadosamente el área y las piezas a soldar para prevenir la inclusión de partículas de carbono en la soldadura. Limpie las inclusiones de carbono en el cordón, después de cada pasada.

3. Use electrodos de acero inoxidable que han sido adecuadamente almacenados. La absorción de humedad por el revestimiento del electrodo puede provocar porosidad y grietas en el cordón de soldadura.
4. Usar el menor diámetro posible de electrodo para mantener al mínimo el aporte de calor.
5. Evitar excesiva oscilación haciendo cordones delgados para obtener mejor calidad de soldadura y prevenir sobrecalentamientos.
6. Mantener el arco corto para mejor control direccional y evitar pérdidas de elementos de aleación. Un arco largo puede quemar el cromo y reducir así la resistencia a la corrosión.
7. Evitar calor excesivo. Usar el amperaje recomendado para el diámetro correspondiente al electrodo.
8. En aceros no estabilizados minimizar el tiempo en que la temperatura de soldadura esta en el rango 400 - 900 °C. Si existe precipitación de carburos, efectuar tratamiento térmico a temperaturas entre 1050° C y 1100° C para redissolverlos y después enfriar rápidamente en agua.

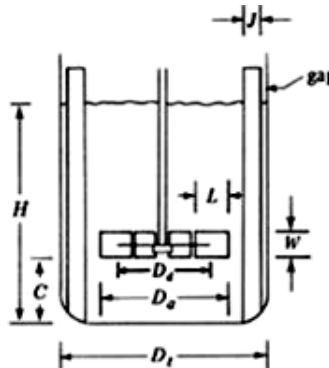
El anexo 8. Muestra las características de las varillas usadas en la soldadura de los componentes del biorreactor.

## 5. DISEÑO MECÁNICO

### 5.1.1 Cuerpo del biorreactor

El diseño del recipiente o contenedor que alberga al cultivo considera las especificaciones de volumen máximo de reacción y el objetivo de este es ser una frontera física entre el ambiente externo contaminado y el ambiente interno controlado. Un tanque contenedor o cuerpo del biorreactor por recomendación de casas fabricantes para el tipo de reacción química en el que se va a utilizar se debe construir en acero inoxidable austenítico, por sus características químicas y físicas superiores; usualmente se prefiere los aceros de las series 316 [23].

Figura 7. Las principales relaciones adimensionales que se utilizan en tanques agitados



Fuente: <http://bioreactorcrc.wordpress.com/2008/01/29/disenio-de-bioreactores-parte-8/>

### 5.1.2 Dimensionamiento del Cuerpo del Biorreactor

El primer paso en el diseño de cualquier biorreactor es dimensionar el “tamaño” del tanque o del cuerpo del biorreactor; la práctica común es, hacerlo a través de variables adimensionales: variables que representan una razón entre dos parámetros con las mismas dimensiones. De esta forma, es posible escalar; es decir cambiar de dimensión o

tamaño, el biorreactor y adaptarlo a otra escala de proceso. Las principales relaciones adimensionales que se utilizan en tanques agitados son (ver Figura 7):

1. La razón de la altura de trabajo ( $H$ ) al diámetro del tanque ( $Dt$ ):  $3 \leq H/Dt \leq 6$  en reactores tubulares (largos) esta relación es de 4 - 6.
2. La razón del diámetro del tanque ( $Dt$ ) al diámetro de las hojas o aspas ( $Da$ ):  $\frac{1}{2} \leq Da/Dt \leq \frac{3}{4}$  cuando el régimen de agitación es laminar y las revoluciones del motor menores a 150 rpm, la relación aumenta  $\frac{3}{4}$ .
3. La razón entre el diámetro de la hoja ( $Da$ ) y el diámetro del espacio libre o hueco entre el rotor y el cuerpo de la hoja ( $Dd$ ):  $2 \leq Da/Dd \leq 4$  en turbinas axiales y hojas planas esta relación aumenta de 2 - 4.
4. La razón entre el ancho de la hoja o aspa ( $L$ ) y el espesor o grosor de esta ( $W$ ):  $4 \leq L/W \leq 16$  en turbinas axiales y hojas planas esta relación se invierte  $\frac{1}{4} \leq L/W \leq \frac{1}{16}$ . En la figura aparece como "gap" - ( $G$ ) es el espacio libre que se deja cuando se utilizan baffles o dispositivos amortiguadores de la turbulencia; normalmente el valor de  $G$  es:  $\frac{1}{12} - \frac{1}{16}$  del valor de  $J$  donde  $J$  es el ancho del baffle o amortiguador;  $J$  por su parte se diseña de acuerdo al diámetro del tanque ( $Dt$ ) pero valor de diseño es el mismo que el del espacio libre:  $\frac{1}{12}Dt \leq J \leq \frac{1}{16}Dt$ .
5. ( $H_s$ ), no aparece en la figura, es la altura de techo o espacio libre que se deja entre la superficie libre del líquido ( $H$ ) y el techo o tapa del biorreactor, para facilitar la operación del sistema; el valor mínimo de la luz ( $H_s$ ) es 10% de la altura total del tanque ( $H_t$ ) y el valor máximo es 50%  $H_t$  que representa el valor mínimo de volumen de operación.
6.  $C$  es la altura de piso del agitador - altura desde el fondo del tanque hasta el punto más bajo de las aspas u hojas;  $C$  se dispone en base a la altura de la columna de fluido ( $H$ ), normalmente:  $\frac{1}{4} \geq C/H \geq \frac{1}{2}$ .

### 5.1.3 Configuración geométrica del fermentador

En esta etapa del trabajo se tomó como base de partida del diseño el biorreactor de 2L en donde se realizaron las pruebas experimentales. A partir de las relaciones geométricas de éste último se llevó a cabo el cambio de escala a un fermentador de 50L. El diseño mecánico básico del fermentador 50 L (volumen de trabajo) consideró el cálculo del diámetro, la altura y las demás relaciones geométricas del fermentador basados en factores de forma estándares (ver Tabla 6) para el diseño de diferentes tipos de fermentadores [7] [9] [24].

Tabla 6. Relación de dimensiones estándares de fermentadores

RELACIÓN			VALORES TÍPICOS	OBSERVACIÓN
V <sub>t</sub> /V	V <sub>t</sub>	Volumen Trabajo	0,7-0,8	-Aplica para Tanques con agitación mecánica.
	V	Volumen Fermentador		
H <sub>i</sub> /H	H <sub>i</sub>	Altura	0,7-0,8	-Depende de la cantidad de espuma producida en la fermentación.
	H	Altura Fermentador		
H/T	H	Altura del Fermentador	1 2 - 3	-Para Tanque sin Aireación. -Para Tanque con Aireación. -Para Tanque con Agitación Mecánica. -Biorreactor Air Lif.
	T	Diámetro del Fermentador	3 - 4 10	

Teniendo en cuenta lo considerado en la sección 5.1.2 y en la Tabla 6 para las relaciones entre las dimensiones del tanque del biorreactor a diseñar se resume en la Tabla 7 las Relaciones geométricas para el fermentador junto con su expresión matemática y en la Figura 8 las principales cotas para el diseño.

Tabla 7. Relaciones geometricas para el fermentador a diseñar

Especificación	Expresión
Altura del tanque	$H = 3T$
Altura del nivel del liquido	$H_i = 9/4T$
Diámetro del impulsor	$D = T/3$
Posición del impulsor al fondo del tanque	$C = T/3$
Distancia del impulsor al nivel del liquido	$N = 3/5T$
Distancia entre impulsores	$S = T/3$
Numero de palas turbina rushton	6
Ancho de la pala	$W = T/5$
Longitud de la pala	$L = T/4$
Diámetro del disco	$D_b = 3/4T$
Numero de bafles	4
Ancho de baffle	$W_b = T/10$
Espacio pared-baffle	$S_b = T/60$

Figura 8. Principales cotas para el diseño del biorreactor

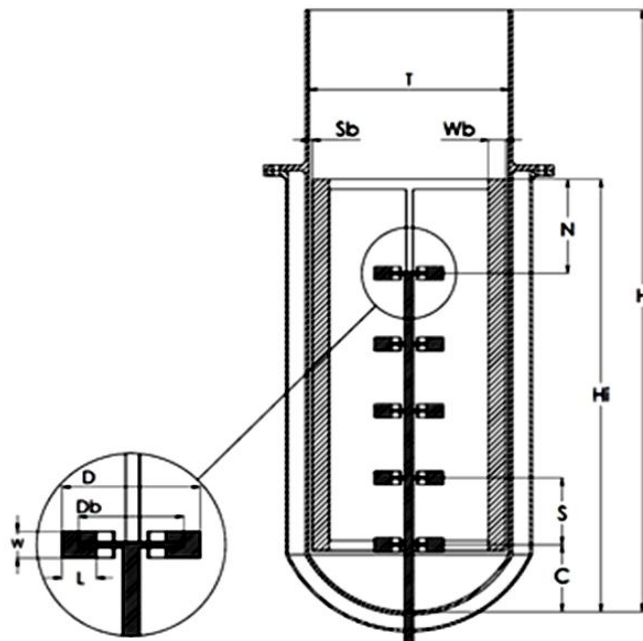
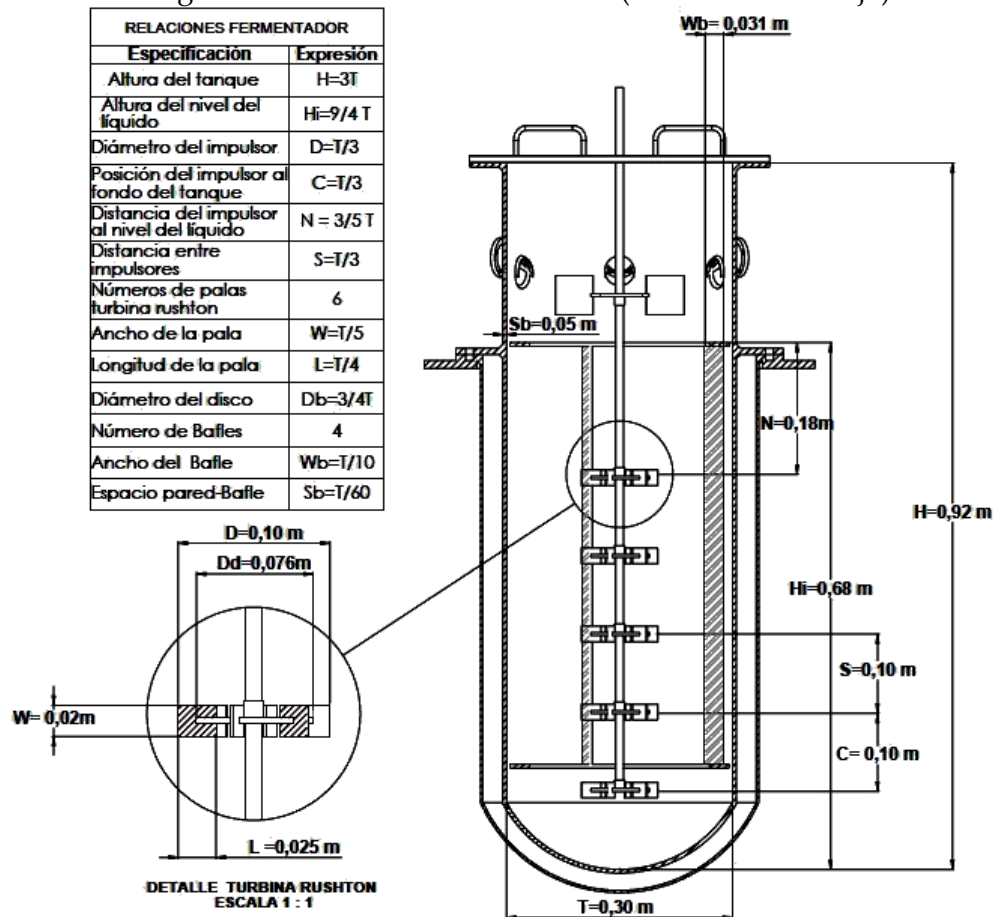


Tabla 8. Dimensiones de las principales cotas del biorreactor a diseñar

ESPECIFICACIONES	SISTEMA 1	SISTEMA 2
	2L	50 L
Diámetro impulsor D(m)	0,05	0,1
Diámetro vaso T(m)	0,20	0,3
Altura vaso H (m)	0,31	0,9
Altura Liquido Hi (m)	0,23	0,7

La Figura 9 y la Tabla 8, muestra las dimensiones de las principales cotas del biorreactor a diseñar.

Figura 9. Relaciones geométricas del fermentador 50 L (volumen de trabajo)



## 5.2 CRITERIO DE CAMBIO DE ESCALA

El cambio de escala del fermentador de 2L a uno escala piloto de 50L se hizo considerando los criterios de: (i) Velocidad Periférica Constante y (ii) Potencia por Unidad de Volumen [15] [25]. Las ecuaciones y el cálculo de la velocidad de agitación (N) y de la potencia (P) que debe suministrar el motor se detalla a continuación.

### 5.2.1 Cálculo de potencia y velocidad de agitación.

#### I. Cálculo de la velocidad de agitación utilizando como criterio de cambio de escala: Velocidad Periférica Constante.

El cálculo de la velocidad de agitación (N) a partir de éste criterio se representa mediante la siguiente ecuación, donde D es el diámetro del agitador.

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{D_1}{D_2} \quad (1)$$

Los subíndices 1 y 2 indican el cambio de escala de fermentador de 2L a 50L respectivamente.

Tabla 9. Valores de diámetro de turbina y velocidad de agitación

		FERMENTADOR 2L	FERMENTADOR 50L
D	Diámetro de Turbina	0,049 m	0,102 m
N	Velocidad de	200 rpm	97 Rpm

#### II. Cálculo de la velocidad de agitación utilizando como criterio de cambio de escala: Potencia por unidad de Volumen Constante.

Se realizó según el procedimiento desarrollado por Aiba y colaboradores [26] para fermentadores en condiciones turbulentas y anaerobios, mediante la siguiente ecuación:

$$N_2 = N_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{2/3} \left( \frac{f c_1 \cdot n_1 \cdot a_2^2 b_2}{f c_2 \cdot n_2 \cdot a_1^2 b_1} \right)^{1/3} \quad (2)$$

Tabla 10. Relaciones para el criterio de cambio de escala

ESPECIFICACIONES	SISTEMA 1	SISTEMA 2
	2L	50 L
Diámetro impulsor D (m)	0,05	0,1
Diámetro vaso T(m)	0,2	0,3
Altura vaso H (m)	0,31	0,9
Altura Liquido Hi (m)	0,23	0,7
Agitación N (rpm)	200	83
$H/T$	1,55	3,0
Número de Impulsores n	2	5
$a = T/D$	4,03	3,0
$b = Hi/D$	4,64	6,7
$fc = (a * b/9))^{1/2}$	1,44	1,5

### III. Cálculo de la Potencia de Agitación del Sistema

La potencia (P) total absorbida de agitación del sistema de 50L para cada criterio estudiado se muestra en la Tabla 12.

En la Tabla 11 se muestran la velocidad de agitación y la potencia para el fermentador de 50 L. Dichos valores fueron calculados según como se describe en la 5.2.1. Teniendo en cuenta que una velocidad de agitación de 83 rpm requiere menos gasto energético que una de 97 rpm, se toma como base la menor para el proceso ABE. Sin embargo, se recomienda realizar experimentos en el biorreactor de 50 L, con la finalidad de confirmar cuál de estos dos valores mejora la producción butanol.

Tabla 11. Potencia y Velocidad de agitación para fermentador (50 L)

CRITERIO DE ESCALADO	VELOCIDAD DE AGITACIÓN (N) (rpm)	POTENCIA SUMINISTRADA POR EL MOTOR (P) (W)
VELOCIDAD PERIFÉRICA CONSTANTE	97	1,1
POTENCIA POR UNIDAD DE VOLUMEN	83	1,7

### Cálculo del número de Reynolds

Experimentalmente y mediante la ayuda de un hidrómetro se determino la densidad del caldo de cultivo a una temperatura de 37°C:  $\rho = 1,105 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ; del mismo modo y mediante la técnica de la bola se encontró la viscosidad dinámica promedio a una temperatura de 37°C:  $\mu = 7,5 \times 10^{-4} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ . El número de Reynolds se halla de la siguiente ecuación para cada criterio de escalado:

$$N_{Re} = p D_r^2 N \quad (3)$$

donde

- $N_{Re}$  = Número de Reynolds
- $D_r$  = Diámetro del rodete o agitador (m)
- $N$  = Velocidad de rotación (m/s)
- $p$  = Relación  $\rho/\mu$

$$N_{Re1} = \frac{1.105 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 * (0.1\text{m})^2 * 1.617 \text{ rev/s}}{7.5 \times 10^{-4} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 23824$$

$$N_{Re2} = \frac{1.105 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 * (0.1\text{m})^2 * 1.383 \text{ rev/s}}{7.5 \times 10^{-4} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 20376$$

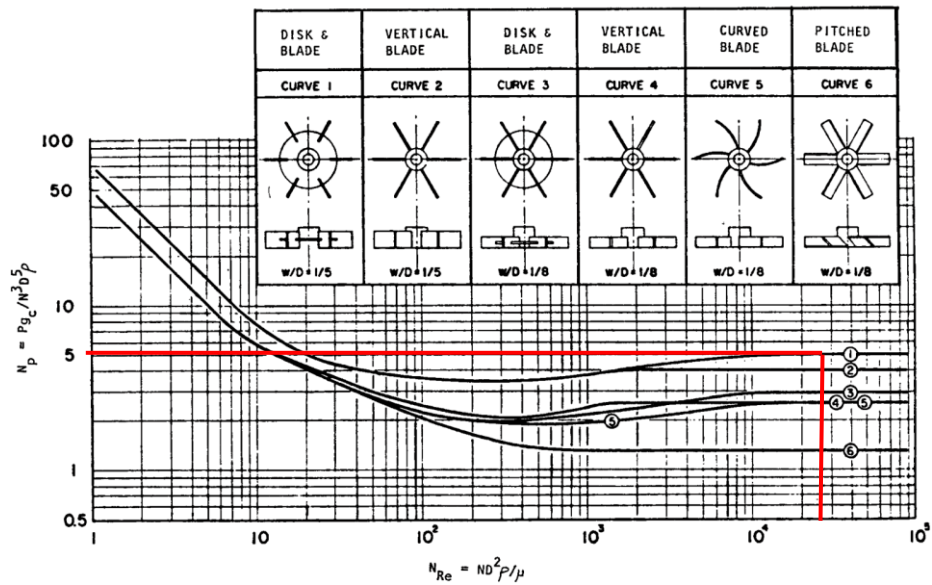
Dado que los numero de Reynolds  $N_{Re} > 10000$  el flujo se considera turbulento.

### Cálculo del número de potencia

Con este antecedente se puede recurrir a la Figura 10 que relaciona el número de Reynolds con el número de potencia en función de la forma de la paleta del agitador a usar:

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D_r^5} \quad (4)$$

Figura 10. Correlación numero de Reynolds contra número de potencia



Fuente: [Bates, Fondy, and Corpstein, Ind. Eng. Chem. Process. Des. Dev.2(4)311(1963)].

Utilizando la Figura 10 se halla el número de potencia  $N_p$ , cruzando el valor del número de Reynolds con la correspondiente curva 1 tipo de rodete seleccionado para el diseño del biorreactor. Esta curva determina un  $N_p = 5$  para números de Reynolds mayores a 10000. Según Chohey y Hicks [27], para tanques agitados con baffles el régimen turbulento se alcanza con números de Reynolds del impulsor  $N_{Re} > 20000$ . En régimen turbulento el número de potencia es aproximadamente constante.

### Potencia absorbida por una turbina sin aireación

Para calcular la potencia de agitación sin aireación de la ecuación anterior (4) se despeja la potencia  $P$ :

$$P = N_p N^3 \rho D_r^5 \quad (5)$$

$$P1 = 5 * (1.617 \text{ rev/s})^3 * 1.105 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 * (0.1 \text{ m})^5 = 0.24 \text{ W}$$

$$P2 = 5 * (1.617 \text{ rev/s})^3 * 1.105 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 * (0.1 \text{ m})^5 = 0.15 \text{ W}$$

Tabla 12. Relaciones para el Cálculo de la Potencia de Agitación

PARÁMETRO	ECUACIÓN	CRITERIO 1	CRITERIO 2
Número de Reynolds	$p D_r^2 N$	23824	20376
Número de Potencia Turbina Rushton	$N_p$	5,0	5,0
Potencia absorbida por un sola turbina (W)	$P = N_p \rho N^2 D^5$	0,24	0,15
Potencia absorbida por corrección (W)	$P_C = P \sqrt{2}$	0,34	0,22
Potencia Total absorbida (W)	$P_T = (\# \text{Agitadores} \cdot P_C)$	1,70	1,10

### Cálculo potencia motor

$P_T$  es la potencia transferida al fluido por parte del agitador, pero en ningún momento se está considerando las pérdidas en el eje y en el sistema de engranaje, que igualmente debe de suministrar el motor, Treybal [28] sugiere que para el cálculo de la potencia total, se considere la potencia antes calculada como un 30% del valor total entonces la potencia motor requerida  $P_M$  es:

$$P_M = P_T / 0.3 \quad (6)$$

$$P_M = \frac{1.1}{0.3} = 3.67W$$

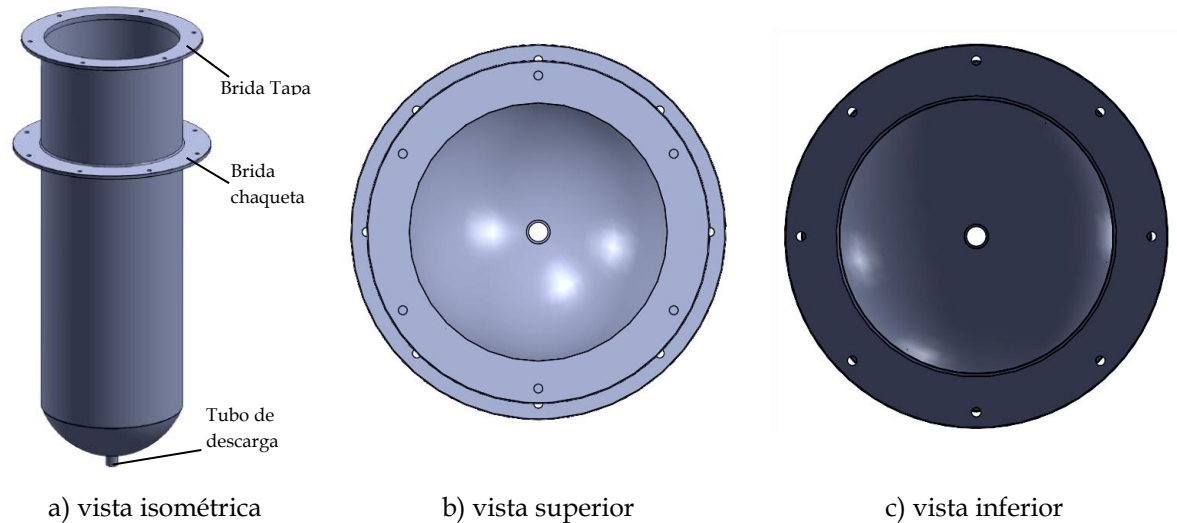
Teniendo en cuenta que el diseño debe satisfacer los requerimientos de la etapa piloto para la producción de n-butanol, este también debe adaptarse a otros propósitos y a otras reacciones bioquímicas propuesto por la Escuela de Ingeniería Química de la UIS, por esta razón se seleccionó un motor-reductor SEW R17 de 0.55Kw.

## 6. DISEÑO DE DETALLE

### 6.1 TANQUE INTERNO CON CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DE REACCIÓN MÁXIMA DE 50 LITROS

El cálculo y la fabricación del recipiente están basados en el código ASME<sup>5</sup> Sección VIII División 1, esta norma cubre el diseño, la selección de materiales, la fabricación, la inspección, las pruebas, los criterios de aprobación y la documentación resultante de las distintas etapas a cumplir.

Figura 11. Tanque interno



De la Tabla 6 tomamos el valor de 3 para la relación  $H/T$  para tanques con aireación y agitación. Tomamos como diámetro interno  $T$  un valor de  $0,3m$  por lo tanto la altura  $H$  para el tanque interno es:

$$H = 3T = 0,3m * 3 = 0,9 m \quad (7)$$

Como especificación tenemos un máximo volumen de reacción de 50 litros ó  $0.05m^3$ , con este valor hallamos la altura máxima  $H_i$  para la reacción:

---

<sup>5</sup> American Society Mechanical Engineers

$$V_t = H_i * A_t$$

$$H_i = \frac{4 * 0.05m^3}{\pi * (0.3m)^2} = 0.70 m \quad (8)$$

Esta dimensión  $H_i$  también sería la altura de la sección cilíndrica de la chaqueta de enfriamiento externo. Entonces si  $H_i = 0.7m$  y  $H = 0.9m$  la relación  $H_i/H$  de la Tabla 6 es:

$$\frac{H_i}{H} = \frac{0.7m}{0.9m} = 0.78$$

El resultado anterior indica que el diámetro  $T$  del recipiente interno tomado,  $T = 0.3m$  cumple, con este valor de  $T$  obtenemos los valores de las demás dimensiones del biorreactor tal como se muestra en la Figura 9.

Al tanque interno del biorreactor se sueldan dos bridas, la primera a la altura del volumen máximo de reacción para acoplar la chaqueta de enfriamiento y la segunda colocada en la parte superior del tanque para sujetar la tapa tal como se muestra en la Figura 11.

### **6.1.1 Cálculo espesor de la lámina para presión interna cuerpo principal**

Utilizando la norma ASME SECCION VIII, calculamos el espesor de la lámina  $t$  del tanque sometido a presión interna a partir de la siguiente ecuación:

$$t = P_D \cdot R / (S \cdot E - 0,6 \cdot P) \quad (9)$$

En cuanto al espesor de la cabeza elipsoidal se utiliza la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{P \cdot D}{2S \cdot E - 0.2P} \quad (10)$$

Donde

- $P_D$  = Presión de diseño
- $R$  = Radio interior
- $S$  = Esfuerzo de fluencia del material
- $E$  = Eficiencia de la junta
- $D$  = Diámetro interior

La presión de operación es a la que va a estar sometido el recipiente normalmente en este caso sería 300KPA ó 43.5 PSI, según el código ASME se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes para una presión mayor que la de operación, este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 30PSI ó 10% más que la presión de operación, la que sea mayor. Entonces la presión de diseño sería  $P_D = 73.5PSI$ .

La eficiencia de la junta o soldadura  $E$  se recomienda para este caso tomar un valor de  $E = 0.7$ .

Considerando lo anterior y aplicando la ecuación ( 9) y ( 10) el valor del espesor de la lámina del cuerpo y la cabeza elipsoidal para el tanque de fermentación sería:

$$t = \frac{73.5psi * (5.9055in)}{26000 * 0.7 - 0.6 * 73.5psi} = 0.0159in = 0.004m$$

$$t_c = \frac{73.5psi * (2 * 5.9055in)}{2 * 26000 * 0.7 - 0.2 * 73.5psi} = 0.0159in = 0.004m$$

Se selecciona una lámina de acero ANSI 316L de espesor comercial de 5mm.

### 6.1.2 Cálculo espesor de la lámina para presión externa cuerpo principal

Los recipientes que habrán de fabricarse para trabajar sujetos a presiones externas, deberán diseñarse para una presión externa máxima permitida de 15 psi o 25% más que la presión externa, según qué valor sea menor.

La presión máxima de trabajo está dada por la siguiente ecuación:

$$P_a = \frac{4B}{3(D_o/t)} \quad (11)$$

Para obtener el factor B se consigue con la ayuda del factor A y para obtener este factor se utilizan las siguientes relaciones:

$$\frac{L}{D_o} ; \frac{D_o}{t} \quad (12)$$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{36.6in}{11.8in} = 3.1 ; \frac{D_o}{t} = \frac{11.8in}{0.197in} = 60$$

El Factor A y B se obtiene con las gráficas del Anexo 5 junto con la temperatura de diseño  $T = 37^\circ C = 100^\circ F$ ;  $A = 0.009$  y  $B = 9000psi$  y aplicando esos valores en la ecuación ( 11) obtenemos:

$$P_a = \frac{4 * 9000}{3 * (11.8in/0.192in)} = 195psi$$

Como la presión admitida  $P_a$  es mayor que la presión de diseño el espesor del casco es adecuado.

## 6.2 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR CHAQUETA

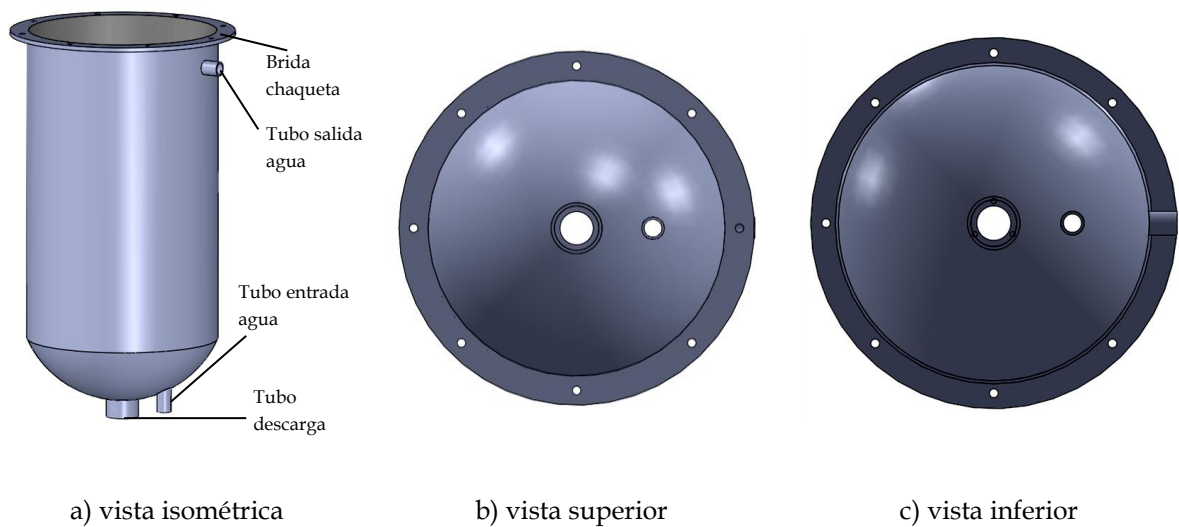
De igual forma al cálculo anterior se realiza el procedimiento para determinar el espesor de la lámina de la chaqueta de enfriamiento construida en Acero inoxidable ANSI 304. En este caso se considera una presión de operación de 1.1 bar ó 15.5psi y una presión de diseño de 45psi.

Aplicando la ecuación ( 9) el espesor de la lámina para la chaqueta es:

$$t = \frac{45psi * (6.89in)}{30000 * 0.7 - 0.6 * 45psi} = 0.0125in = 0.0031m$$

Se selecciona una lámina de espesor comercial de 3.2mm.

Figura 12. Chaqueta



La chaqueta lleva 3 orificios, entrada y salida de agua para el enfriamiento, y un agujero en el fondo para el drene del agua y el caldo del cultivo (ver Figura 12).

### 6.3 TAPA DEL TANQUE INTERNO CON SELLO MECÁNICO

El diseño de la tapa cuenta con los orificios necesarios para la instalación de la instrumentación necesaria para el proceso de reacción bioquímica y el compartimiento donde será ubicado el rodamiento para el eje (ver Figura 14).

Los cálculos se realizan (considerando una tapa plana, con sello, ajustada por seis pernos de tamaño M10) con el siguiente procedimiento para tapas con un diámetro mayor a 16 pulgadas.

1. Cálculo del ancho del empaque  $N$

$$N = \frac{D_r - D_{int}}{2} \quad (13)$$

$$N = \frac{38cm - 30cm}{2} = 4cm = 1.575pulg$$

2. Seleccionar el material del empaque para obtener el valor de  $m$  y de  $y$  ver Anexo 6.

Hule con tejido de algodón insertado

Factor de empaque  $m = 1.25$

Mínimo esfuerzo de asentamiento  $y = 400psi$

3. Ancho efectivo del asentamiento del empaque se utiliza de acuerdo al tipo de cara  $b_0$  ver tabla Anexo 6.

$$b_0 = \frac{3N}{8} \quad (14)$$

$$b_0 = \frac{3 * 1.575pulg}{8} = 0.59pulg$$

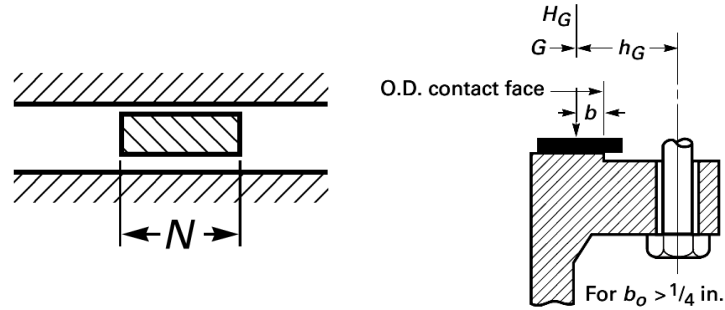
4. Ancho efectivo del asentamiento del empaque  $b$ .

$$\begin{aligned} b &= b_0 \text{ cuando } b_0 < \frac{1}{4} \\ b &= \frac{\sqrt{b_0}}{2} \text{ cuando } b_0 > \frac{1}{4} \end{aligned} \quad (15)$$

Como  $b_0$  es mayor que  $0.25pulg$  utilizamos la segunda ecuación

$$b = \frac{\sqrt{0.59pulg}}{2} = 0.384pulg$$

Figura 13. Ancho efectivo del sello



Fuente: adaptado de código ASME Section VIII Div. 1

5. Localización de la cara de reacción  $G$ .

$$G = \frac{D_r + D_{int}}{2} \quad (16)$$

$$G = \frac{38cm + 30cm}{2} = 34cm = 13.386pulg$$

6. Carga total en los tornillos  $W$  el que resulte mayor de  $W_{m1}$  y  $W_{m2}$ .

$$W_{m1} = G^2 P + 2b\pi GmP \quad (17)$$

$$W_{m2} = \pi bGy \quad (18)$$

$$W_{m1} = 13.386^2 * 73.5 + 2 * 0.384 * \pi * 13.386 * 1.25 * 73.5 = 16137.38lb$$

$$W_{m2} = \pi * 0.384 * 13.386 * 400 = 6459.40lb$$

Como  $W_{m1} > W_{m2}$  entonces  $W_{m1} = W$

7. Cálculo área transversal neta requerida de los tornillos en condiciones operacionales  $A_1$

$$A_1 = \frac{W_{m1}}{S_b} \quad (19)$$

$S_b$  es el esfuerzo permisible del material de los tornillos (ver Anexo 7).

$$A_1 = \frac{16137.38lb}{45000psi} = 0.36pulg^2$$

8. Cálculo distancia radial de la línea de centros de barrenos a la línea de reacción del empaque  $h_g$ .

$$h_g = \frac{D_{barr} - G}{2} \quad (20)$$

$$h_g = \frac{13.78pulg - 13.386pulg}{2} = 0.197pulg$$

9. Cálculo del espesor mínimo requerido en la tapa  $t$ .

$$t = G \sqrt{\frac{CP}{SE} + \frac{1.9Wh_g}{SEG^3}} \quad (21)$$

El valor de  $C = 0.3$  (constante adimensional que depende de la forma de unión entre la tapa y cilindro) se toma de acuerdo al tipo de Junta para la tapa en el Anexo 6.

$$t = 13.386 \sqrt{\frac{0.3 * 73.5}{35000 * 0.85} + \frac{1.9 * 16137.38 * 0.197}{35000 * 0.85 * 13.386^3}} = 0.307pulg = 0.78cm$$

Se selecciona un espesor comercial de  $8mm$  para la tapa del biorreactor.

10. Cálculo de la carga total de los tornillos  $W_t$ .

$$W_t = \frac{A_{m1} + A_b}{2} (S) \quad (22)$$

$A_b = 0.102pulg^2$  es el área transversal neta de los tornillos (diámetro raíz) los tornillos seleccionados son de un diámetro nominal de  $3/8pulg$ .

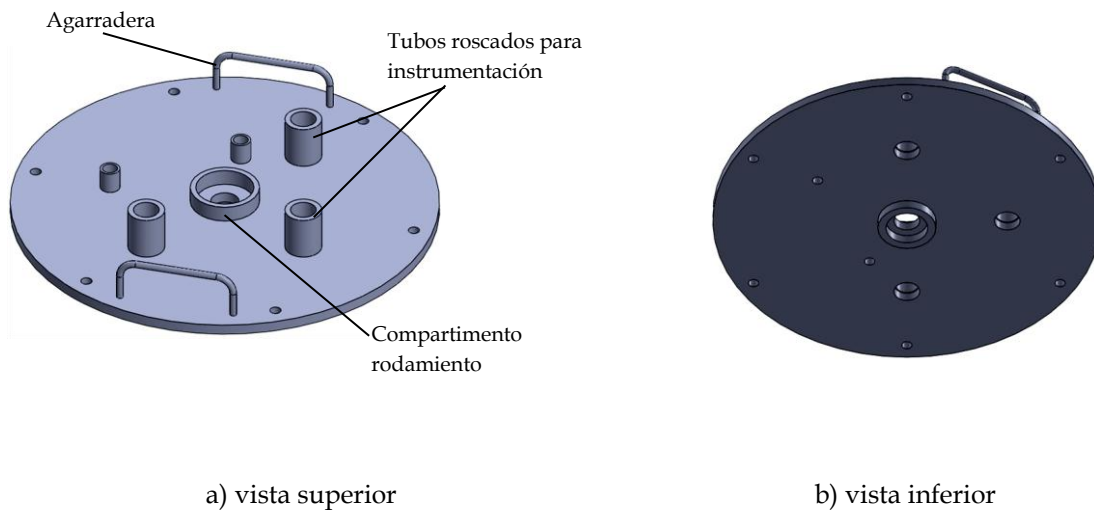
$$W_t = \frac{0.36pulg^2 + 0.102pulg^2}{2} * 45000psi = 10395lb$$

El número de tornillos seleccionado es 6 para este caso, con un factor de seguridad  $F_s = 3.5$  para tapas para recipientes a presión.

$$n_t = \frac{W_t}{A_b * S * F_s} \quad (23)$$

$$n_t = \frac{10395lb}{0.102pulg^2 * 45000psi * 3.5} = 5.5$$

Figura 14. Tapa del tanque



La Figura 14 muestra el diseño final de la tapa, a esta se le sueldan dos manijas para su mejor manipulación.

## 6.4 SISTEMA DE AGITACIÓN

La especificación del sistema de agitación para el fermentador de 50 L se realizó seleccionando primero el tipo de agitador de acuerdo con criterios basados en la viscosidad del fluido del medio de fermentación y la sensibilidad del sistema al esfuerzo de corte [7] [8] [12]. Seguidamente se eligieron el sistema de baffles, el “sparger” y el

cortador de espuma. Por último, se calcularon las dimensiones de cada uno de ellos de acuerdo con los factores de forma establecidos en la literatura [8] [18].

### 6.4.1 Baffles

Son una mejora muy utilizada ya que pueden instalarse fácilmente en los sistemas de agitación, disminuyen (deflecan) la turbulencia ocasionada por las hojas o aspas del impulsor, rompen (disgregan) los cúmulos celulares y micelios que se forman en los respectivos cultivos y mejoran la eficiencia de mezclado. La relación óptima del diámetro del baffle ( $W_b$  ó  $J$ ) al diámetro de tanque ( $T$ ) es:  $W_b/T = 1/10-1/12$ . El número indicado de baffles es 4 para sistemas moderadamente agitados y 6 para sistemas turbulentos.

En la literatura se recomienda que para este tipo de biorreactor se coloque 4 baffles para mejor mezclado del cultivo, con un ancho de  $w_b = \frac{T}{10}$  (ver Figura 9).

Al sistema de baffles cuenta con cuatro niveles para la ubicación de la canasta portadores (Figura 20) de esta manera el biorreactor se puede utilizar en 4 rangos de volúmenes de reacción bioquímica.

Figura 15. Baffles

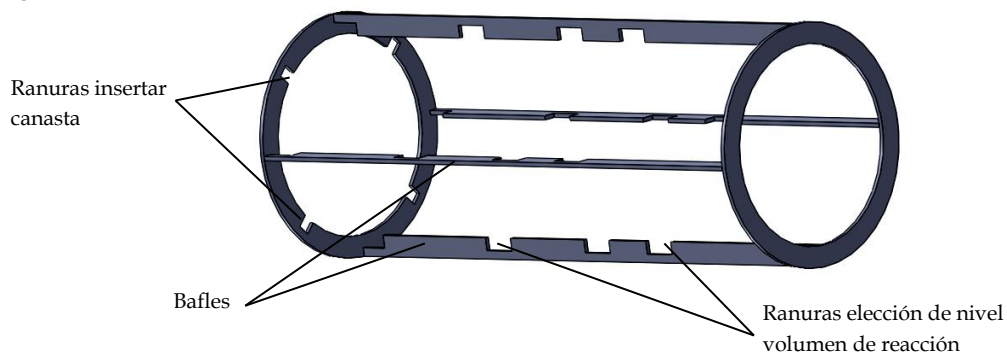
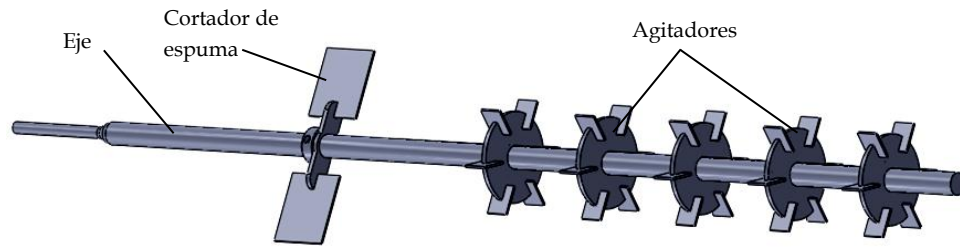


Figura 16. Sistema de agitación



### 6.4.2 Eje motriz principal

La literatura recomienda que para el diseño del eje se seleccione un diámetro estándar para mayor facilidad de ajuste a los estándares del motor seleccionado. En este caso se seleccionó 3/4 pulgadas de diámetro.

Figura 17. Eje



### 6.4.3 Agitadores tipo turbinas Rushton

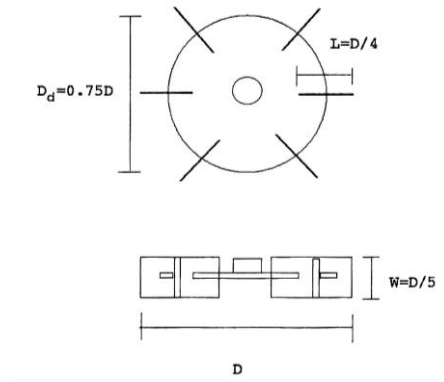
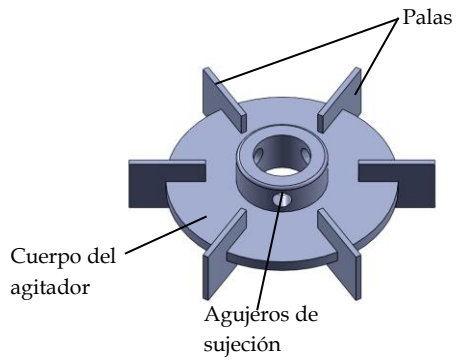
El diseño de los agitadores es simple, las dimensiones se relacionan con el diámetro  $T = 30\text{cm}$  del tanque de fermentación (ver Figura 18):

$$D = T/3 \quad (24)$$

Entonces

$$D = 10\text{cm}; L = 2.5\text{cm}; D_a = 7.5\text{cm}; W = 2\text{cm}$$

Figura 18. Agitador tipo Rushton

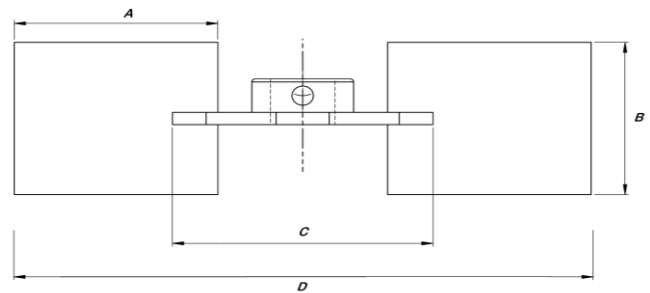
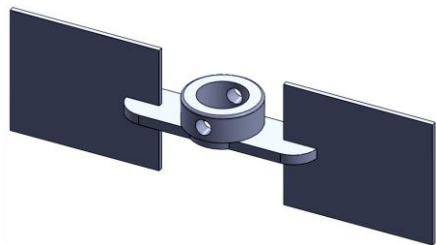


### 6.4.4 Cortador de espuma

La formación de espuma es crítica en los biorreactores por muchas razones, las más destacadas son:

1. Disminución del volumen del líquido en el interior del biorreactor.
2. Disminución de la actividad biológica del bio-producto si posee propiedades tenso-activas y es sensible a fuerzas de torsión.
3. Contaminación microbiológica del bio-proceso si la espuma alcanza a salir por el venteo o salida de gas agotado.

Figura 19. Cortador de espuma



El cortador de espuma actúa como un impulsor que se coloca por encima de la canasta de sensores al nivel de volumen deseado para la reacción bioquímica, su función es actuar como una centrifuga, impulsando la fase pesada al fondo y dejando pasar la fase ligera (gases).

La longitud del cortador  $D$  se relaciona con el diámetro del tanque  $T$  y el ancho de los baffles  $W_b$ ; con las siguientes relaciones:

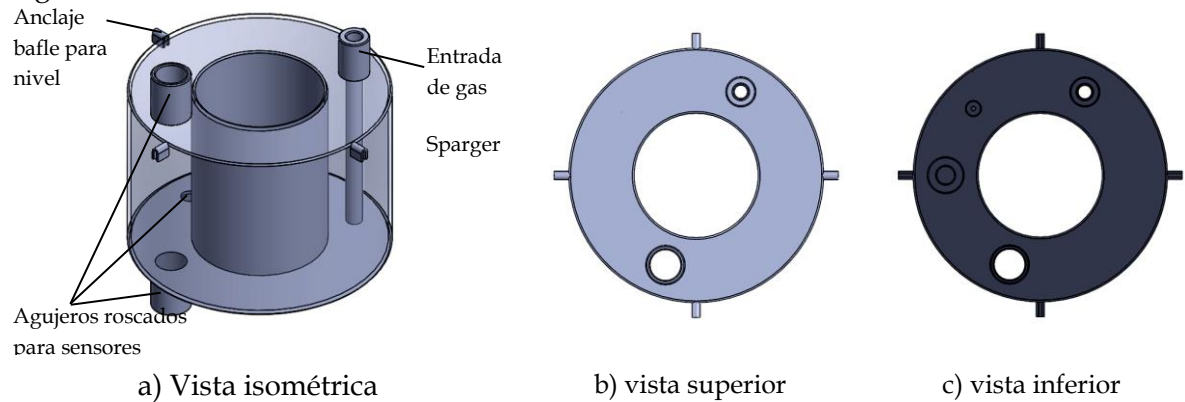
$$D = \frac{2}{3} * T - 2W_b ; C = A = D/3 ; B = \frac{5}{6} A \quad (25)$$

$$D = 160cm; C = A = 60cm; B = 50cm$$

### 6.4.5 Canasta de sensores

La canasta cuenta con secciones de tubo con rosca interna para adaptar los diferentes sensores de medición; de oxígeno, pH, temperatura, etc. También tiene cuatro topos de anclaje que se ubican en las ranuras de los baffles (ver Figura 20).

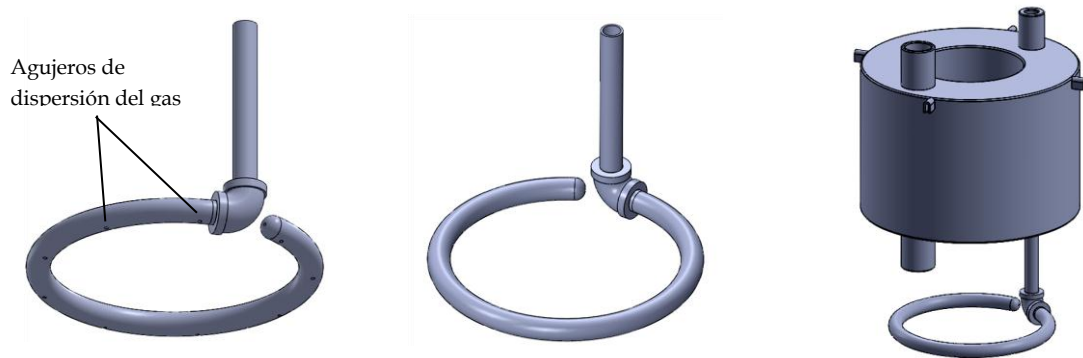
Figura 20. Canasta de sensores



### 6.4.6 Dispensador de gas tipo Sparger

La función del dispensador o Sparger (Figura 21) es permitir la inyección de un gas químicamente inerte, tal como el nitrógeno  $N_2$  a través del líquido. Esto es usado para eliminar los gases disueltos (por ejemplo oxígeno) desde el líquido.

Figura 21. Sparger



## 6.5 PORTA MOTOR Y OREJA DE ELEVACIÓN

El diseño del portamotor se baso principalmente en dos factores; en la distancia del eje de agitación y el acople al eje del motor-reductor. El diseño de la oreja de elevación se baso principalmente el centro de masa de todo el biorreactor. A continuación se presentan los cálculos de resistencia de las soldaduras realizadas al ensamble (Figura 23).

Para determinar si las soldaduras son las adecuadas se necesita determinar las cargas  $W_i$  que están soportan (Tabla 13). Los valores de los pesos de cada elemento fueron calculados usando propiedades físicas del modelo realizado en SolidWorrks.

La Figura 22

Figura 24. Zona de soldadura sometida a flexión muestra la configuración de la soldadura más crítica en el diseño de la oreja de elevación, para el cálculo del esfuerzo el procedimiento es tomado de Hamrock et al. [29].

Figura 22. Portamotor y oreja de elevación

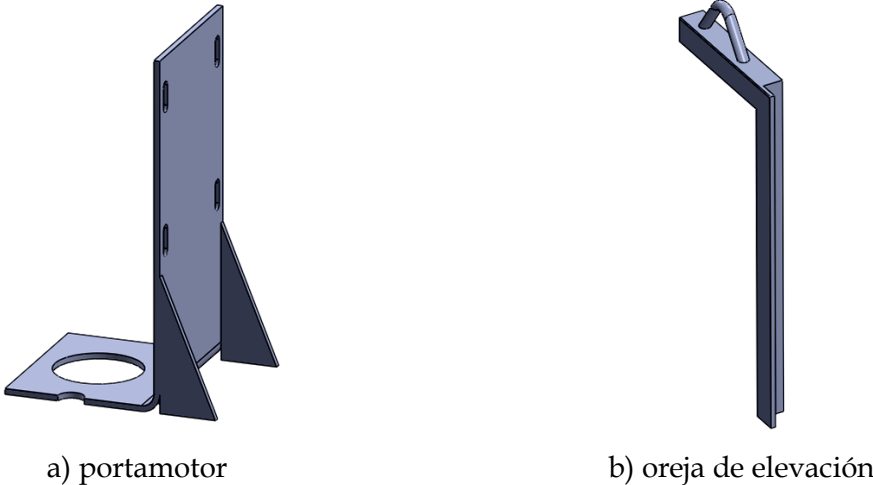
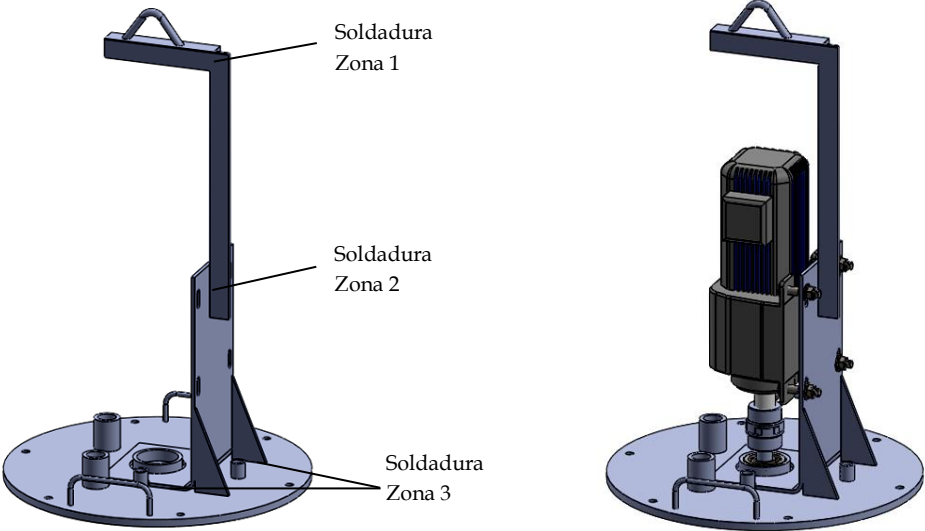


Figura 23. Ensamble portamotor-oreja de elevación y tapa biorreactor



En flexión la junta soldada experimenta un esfuerzo cortante transversal, así como un esfuerzo normal. El esfuerzo cortante directo (o transversal) se calcula por la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{P}{t_e L_w} = \frac{1.414P}{h_e L_w} < (S_{sy})_{soldadura} \quad (26)$$

donde

- $t_e$  = Longitud de la garganta de la soldadura, *pulg*
- $h_e$  = Longitud del cateto de la soldadura, *pulg*
- $L_w$  = Longitud de la soldadura, *pulg*

$$\tau = \frac{P}{t_e L_w} = \frac{62lb}{0.19pulg * 1.0pulg} = 326psi$$

La resistencia a la tracción de la soldadura  $(S_{sy})_{soldadura}$  (ver Anexo 8) es de 610Mpa ó 88.5Ksi que es mucho mayor al esfuerzo obtenido  $\tau = 326psi$ .

Tabla 13. Carga soportadas por las soldaduras

elemento	Carga $W_i$ , lb
Eje agitación	3.55
Agitador rushton x 5	0.47 x 5
Cortador de espuma	0.37
Tapa-brida biorreactor	21.59
portamotor	4.55
Oreja de elevación	2.13
Motor-reductor	23.5
Accesorios	5.10
<b>Total carga <math>W_{Tot}</math></b>	<b>63.15 lb</b>

Figura 24. Zona de soldadura sometida a flexión

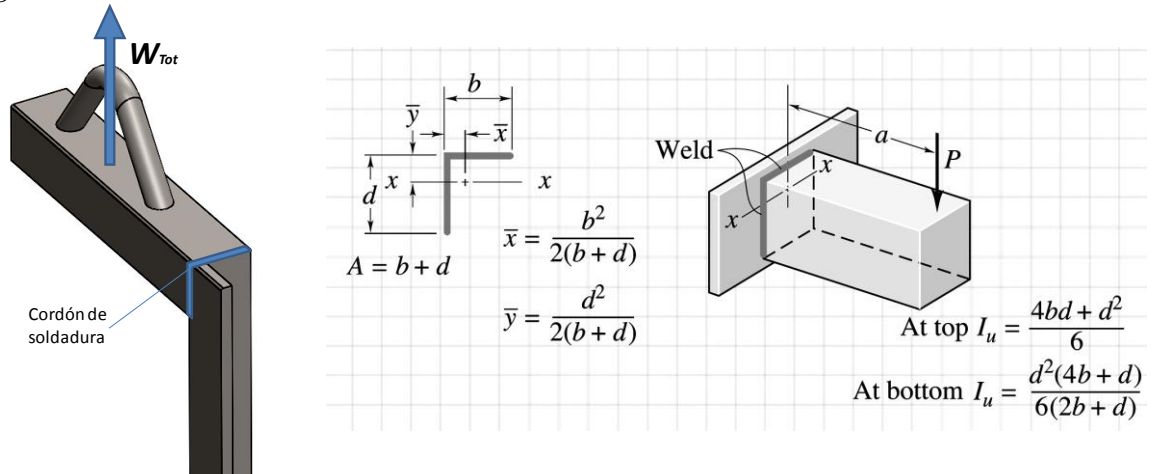
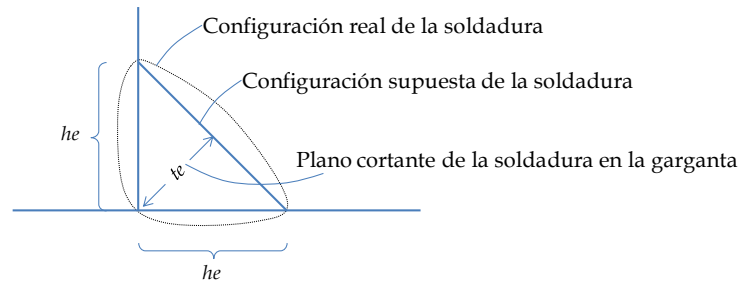


Figura 25. Sección transversal de soldadura de filete



El momento flexionante  $M$  produce un esfuerzo flexionante normal  $\sigma$  en las soldaduras. Comúnmente se supone que el esfuerzo actúa como uno normal sobre el área de la garganta.

$$I = t_e I_u L_w = 0,707 h_e I_u L_w \quad (27)$$

donde

$I_u$  = Momento de inercia del área unitaria,  $pulg^2$

$L_w$  = Longitud de la soldadura,  $pulg$

$$I = 0.19pulg * \left( \frac{(1pulg)^2(5 * 1pulg)}{6(3pulg)} \right) * 1pulg = 0.053pulg^4$$

La fuerza por unidad de longitud de la soldadura es:

$$w' = Pa/I_u \quad (28)$$

donde

$a$  = Distancia desde la pared hasta la carga aplicada, *pulg*

$$w' = 62lb * \frac{9pulg}{0.278pulg^2} = 2007,2lb/pulg$$

El esfuerzo normal debido a la flexión es:

$$\sigma = Mc/I \quad (29)$$

donde

$c$  = Distancia desde el eje neutral hasta la fibra exterior, *pulg*

$$\sigma = 62lb * 9pulg * \frac{0.25pulg}{0.053pulg^4} = 2632.1psi$$

Hallados el esfuerzo cortante y el normal, se pueden determinar los esfuerzos cortantes principales por medio de la ecuación ( 30):

$$\tau_{max}, \tau_{min} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{4}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (30)$$

Los esfuerzos normales principales:

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{4}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (31)$$

$$\tau_{max} = 326psi$$

$$\sigma_1 = 1642.05psi$$

$$\sigma_2 = 990psi$$

Con los valores de los esfuerzos principales, se puede determinar la teoría del esfuerzo cortante máximo (MSST) por medio de la ecuación ( 32), o se puede determinar la teoría de la energía de distorsión (DET) por medio de la ecuación ( 33), para establecer si el grupo de soldaduras fallará.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = S_y/n_s \quad (32)$$

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_e \quad (33)$$

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2)^{1/2}; \sigma_e \leq S_y/n_s \quad (34)$$

$$\sigma_e = 1432.06ps \leq 88Ksi/3.5$$

## 6.6 ESTRUCTURA DE SOPORTE TIPO TRÍPODE

El cálculo de la resistencia de los perfiles de soporte del biorreactor considera el peso propio del biorreactor y el peso generado por las masas de agua de enfriamiento contenido dentro de la chaqueta y el peso del caldo del cultivo; para hallar el peso por los líquidos se necesita conocer el volumen interno de cada tanque y la densidad de los líquidos.

Volumen tanque reacción bioquímica:  $3600pulg^3$

Volumen chaqueta enfriamiento:  $1200pulg^3$

Tabla 14. Carga soportadas los soportes

elemento	Carga $W_i$ , lb
Elementos biorreactor (Tabla 13)	63.15
Peso Chaqueta enfriamiento	45.90
Peso tanque reacción	92.70
Peso caldo cultivo	$3600pul^3 * 0.0398845lb/pulg^3$
Peso agua enfriamiento	$1200pulg^3 * 0.03612729lb/pulg^3$
Otros Accesorios	4.5
<b>Total carga <math>W_{Tot}</math></b>	<b>394 lb</b>

Para el soporte del biorreactor se usan perfiles estructurales en L de lados iguales de  $1\frac{1}{2} \times 0.188$  pulg de acero estructural A-36. Las propiedades de este perfil se especifican en el Anexo 9.

***Propiedades de material del perfil L (Acero A-36)***

Modulo elástico 29007547.53 Psi

Relación de Poisson 0.26

Modulo de corte 11501492.6 Psi

Densidad  $0.283599 lb/in^3$

Esfuerzo de fluencia 36259.43 Psi

Esfuerzo a tracción y compresión 58015.1 Psi

Se considera que las cargas máximas posibles en la estructura son soportadas en 3 puntos, con esta idealización podemos dividir la carga soporta para cada elemento considerado como columna

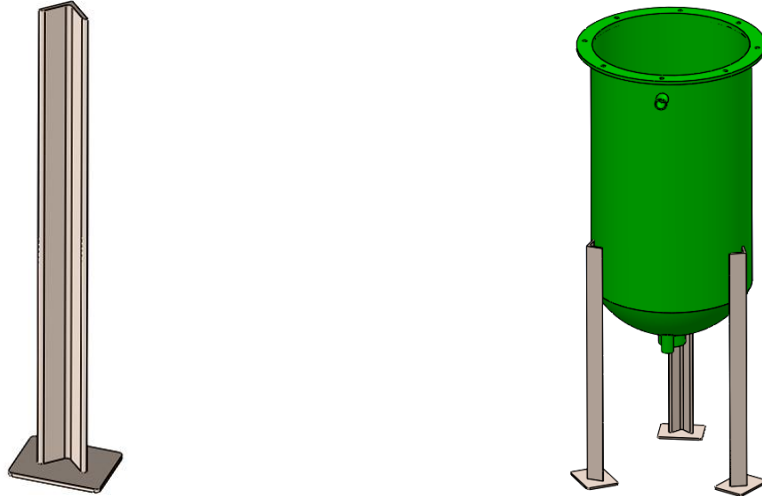
$$P_1 = \frac{W_{tot}}{3} = \frac{394lb}{3} = 132lb$$

Esfuerzo de compresión

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{132lb}{0.52pulg^2} = 254psi \quad (35)$$

El esfuerzo de compresión es mucho menor que el esfuerzo de fluencia del material del perfil.

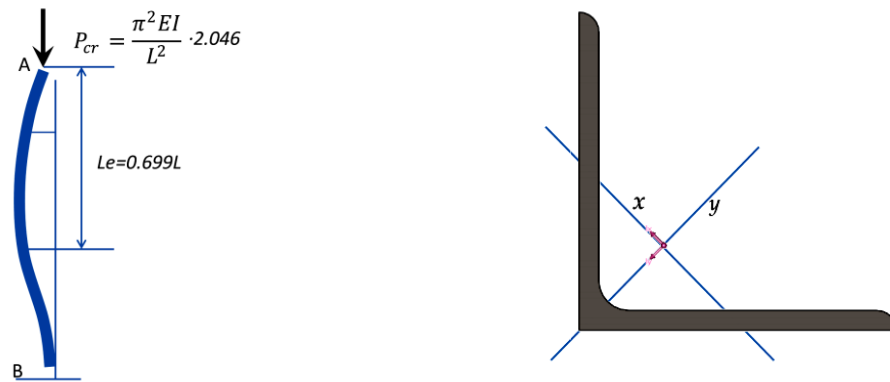
Figura 26. Perfil estructural-soporte biorreactor



La carga crítica por pandeo de columna, se considera para este análisis el tramo AB de la longitud del elemento estructural, este elemento se considera con extremo superior articulado y extremo inferior empotrado y las deformaciones laterales se toman despreciables y solo se considera deformación vertical o pandeo, entonces la carga crítica es:

$$P_{cr} = K \cdot \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (36)$$

Figura 27. Carga crítica pandeo de columna



Carga crítica en el eje principal x

$$P_{cr} = K \cdot \frac{\pi^2 EI}{L^2} = 2.046 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 29007547.53 \text{psi} \cdot 0.0753840 \text{pulg}^4}{(22.2 \text{pulg})^2} = 89500 \text{lb}$$

Carga crítica en el eje principal y

$$P_{cr} = K \cdot \frac{\pi^2 EI}{L^2} = 2.046 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 29007547.53 \text{psi} \cdot 0.2916233 \text{pulg}^4}{(22.2 \text{pulg})^2} = 34600 \text{lb}$$

Las cargas máximas posibles a la cual se somete la estructura están por debajo de las cargas críticas para pandeo de columna  $P_1 \ll P_{cr}$ .

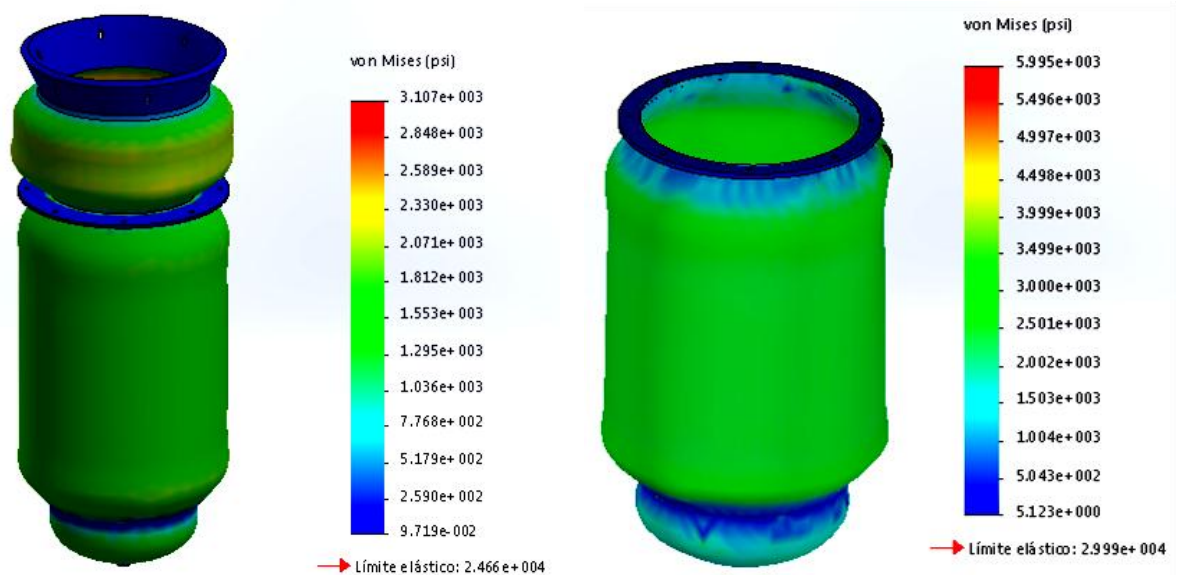
## 6.7 PROCESO DE SIMULACIÓN

1. Desarrollar archivos CAD (dibujo asistido por computadora) en los cuales intervienen la geométrica de cada elemento de máquina para después realizar el ensamble del sistema.
2. Definir los materiales a utilizar, en este caso aceros AISI 304 y AISI 316L insertando en el programa las propiedades mecánicas de cada uno de ellos.
3. Introducir las propiedades de los flujos a estudiar.

4. Fijaciones y restricciones del elemento, definir los puntos de apoyo donde se sostienen cada pieza.
5. Aplicación de cargas en el sistema ya sean presiones y torques para el estudio mecánico y velocidad, caudal y temperaturas para los efectos transferencia de calor y flujo.
6. Creación de la malla, la cual debe ser muy fina para garantizar resultados fidedignos.
7. Ejecución del estudio, análisis de resultados y validación frente a los códigos relacionados.

La Figura 28, muestra los resultados obtenidos de la simulación del estudio de recipientes sometidos a presión, mediante el software Solidworks. El análisis de esfuerzo muestra que los espesores de lámina seleccionados para los recipientes son adecuados.

Figura 28. Simulación de los recipientes sometidos a presión.



a) simulación tanque fermentación

b) Simulación chaqueta

Figura 29. Simulación de la tapa tipo brida

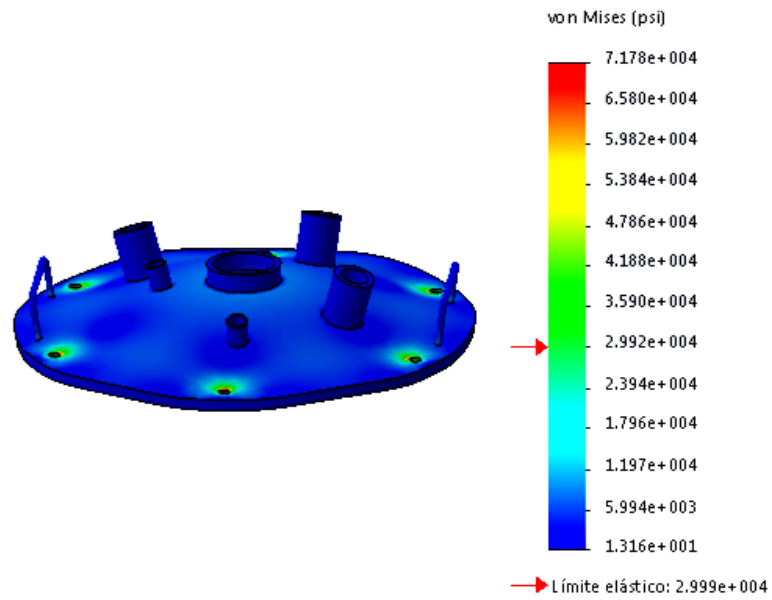
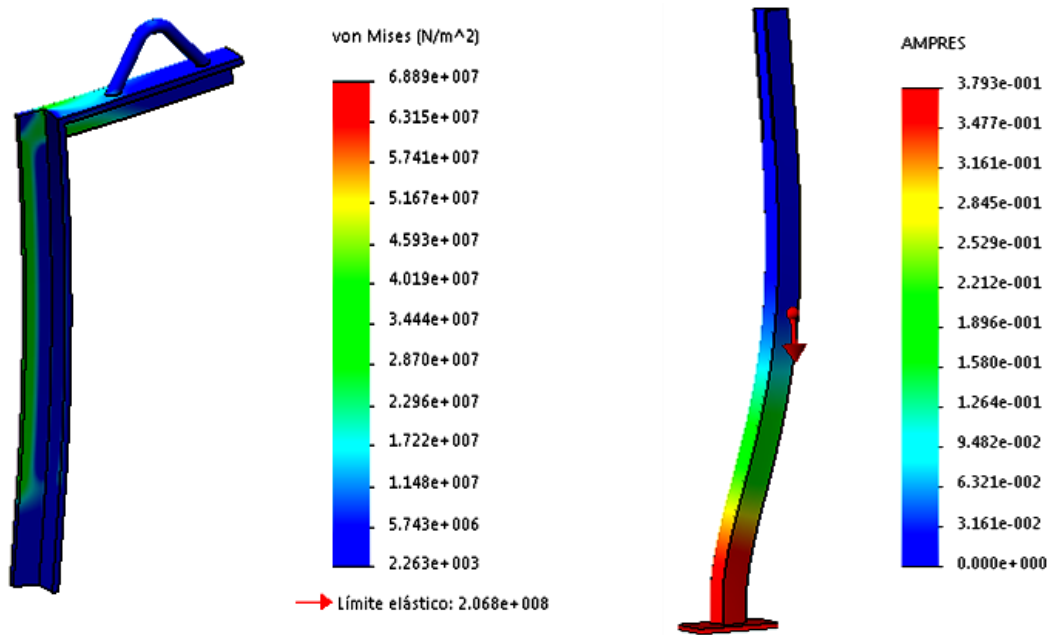


Figura 30. Simulación oreja de elevación – soporte biorreactor



## 6. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE

Figura 31. Diseño final del biorreactor

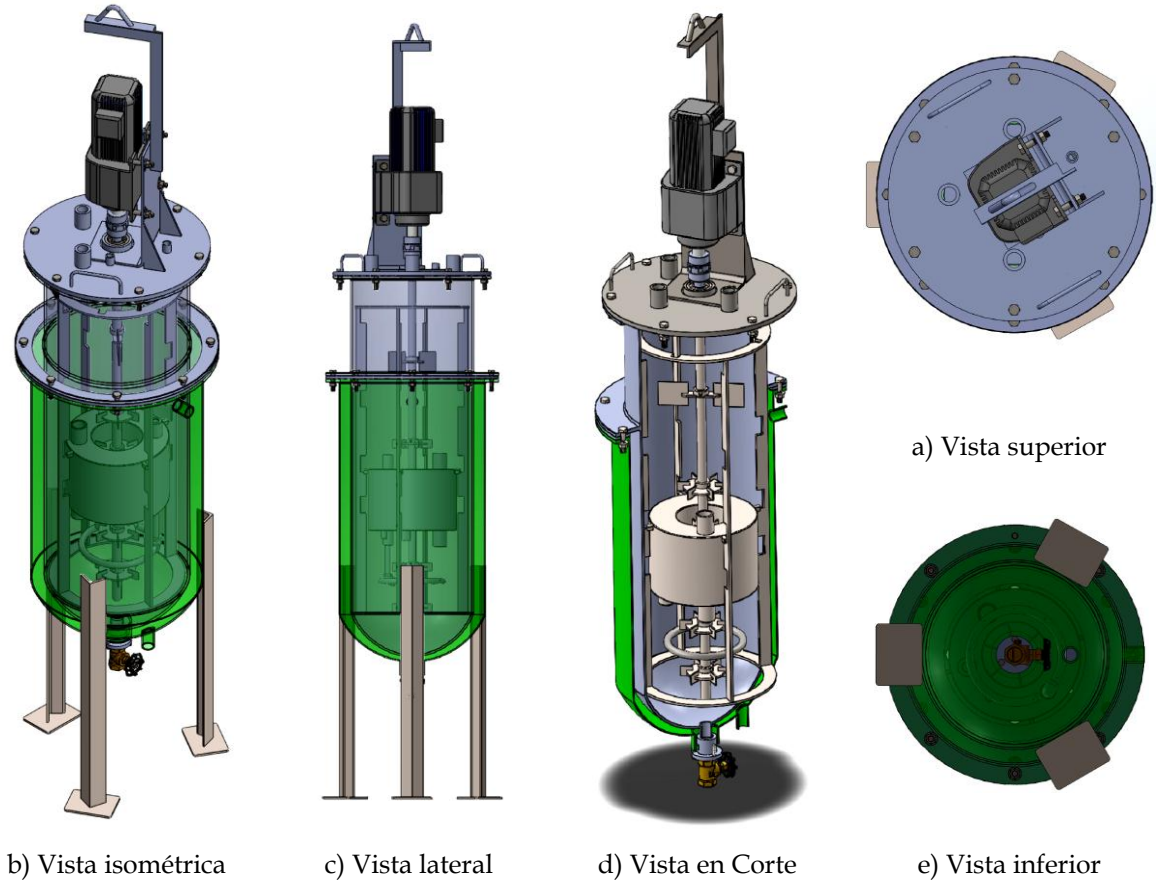


Figura 32. Corte y elementos del biorreactor

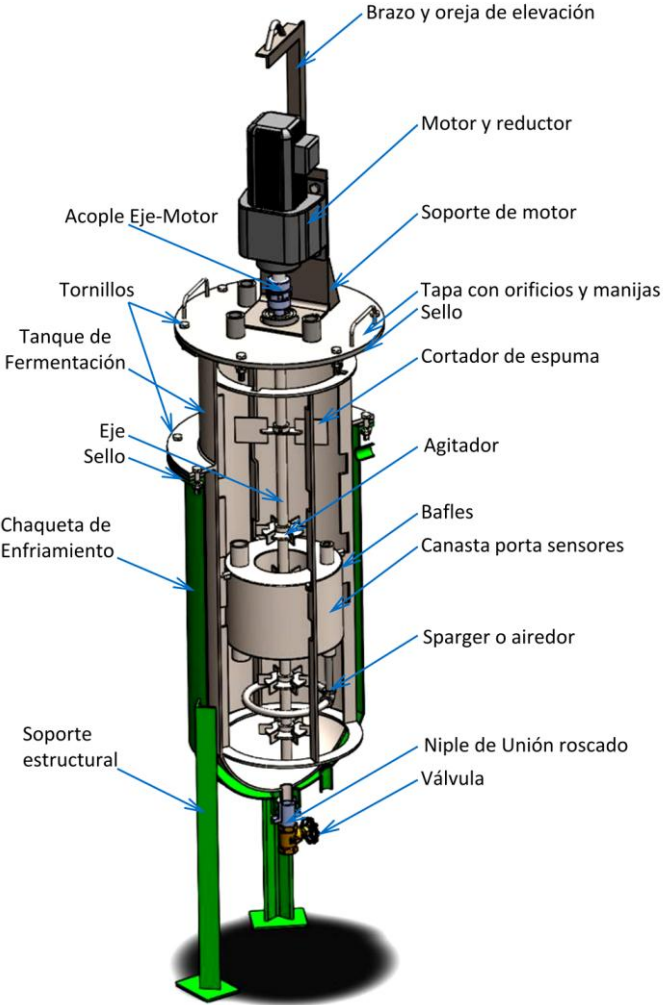


Figura 33. Fotografias del biorreactor construido. tanque y motor



Figura 34. Fotografias del biorreactor construido. Canasta, acople y drenaje



Figura 35. Fotografías de baffles y sistema de agitación



## 7. SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

El sistema de control de temperatura está conformado por:

**Sensor/Transmisor:** Una termorresistencia (RTD) pt-100, de acero inoxidable 304, posee en su interior un componente resistivo de platino de  $100 \Omega$  (Pt-100) a  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ . La longitud del bulbo es de 5 cm, diámetro de 4 mm, conexión de 3 hilos, ubicada en la canasta tubular del interior del biorreactor, modifica su componente resistivo según las variaciones de temperatura del medio de fermentación; el controlador TZN4S mide la corriente que circula a través de la RTD indicando el valor de temperatura asociado a la medición en el rango de  $0$  a  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$  y emite una señal de corriente en el rango de 4-20 mA.

**Transductor:** El módulo NI-AI-9203 de la tarjeta DAQ recibe la señal de corriente para acondicionarla con las acciones de amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento que sean necesarias para luego convertir la señal a digital por un convertidor análogo digital (ADC) de 16 bits de resolución y enviarla por el bus de comunicación.

**Controlador:** El computador recibe la señal por el puerto USB y a través de la interfaz gráfica programada realiza la monitorización, compara el valor medido con el set point, evalúa el error y toma la decisión correspondiente.

**Actuador:** La interfaz gráfica programada envía una señal al módulo NI-DO-9401 para activar el relé correspondiente que abre una válvula solenoide dando paso al flujo de agua de enfriamiento. La válvula de marca UNI-D abierta en falla, requiere alimentación de 110 VAC, con diámetro interno de  $3/8''$ .

Figura 36. Sistema de control de temperatura

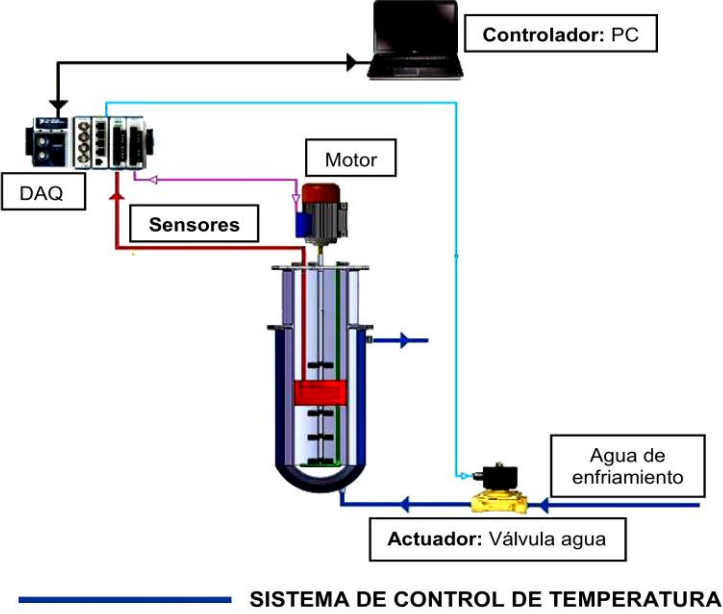


Figura 37. Componentes del control de temperatura



## 7.1 LAZO DE TEMPERATURA

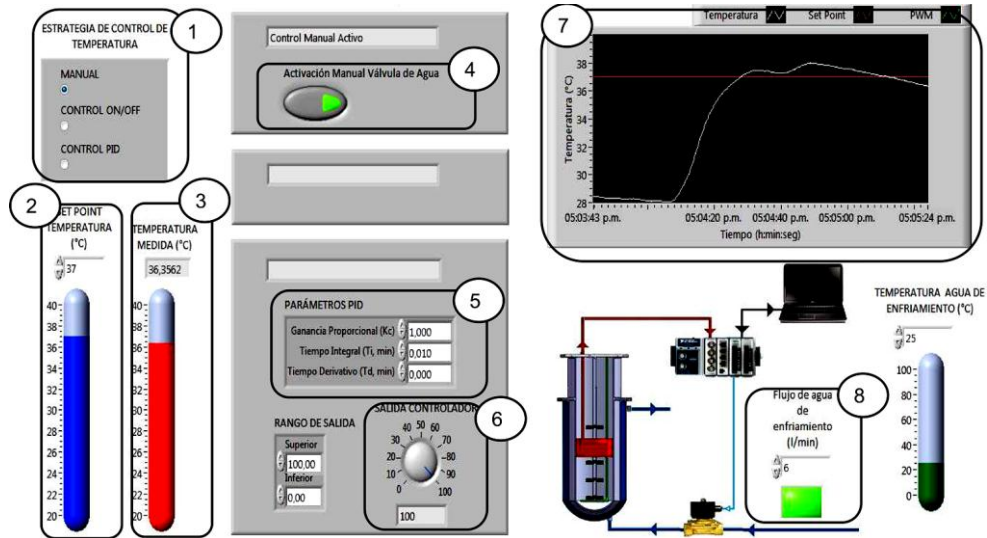
A través de la interfaz gráfica se puede seleccionar una de las tres estrategias configuradas:

*Manual:* El operador decide el momento de abrir o cerrar la válvula de flujo de agua de enfriamiento. Al momento de cambiar de estrategia o detener la adquisición de datos, el botón de activación de la válvula regresa a su estado por defecto de apagado.

*Control ON/OFF:* Requiere que el operador ingrese un set-point de temperatura. Si la temperatura es superior al set-point, la válvula se abre y permite el flujo de agua a través de la chaqueta; una vez la temperatura sea igual o inferior al set-point la válvula se cierra.

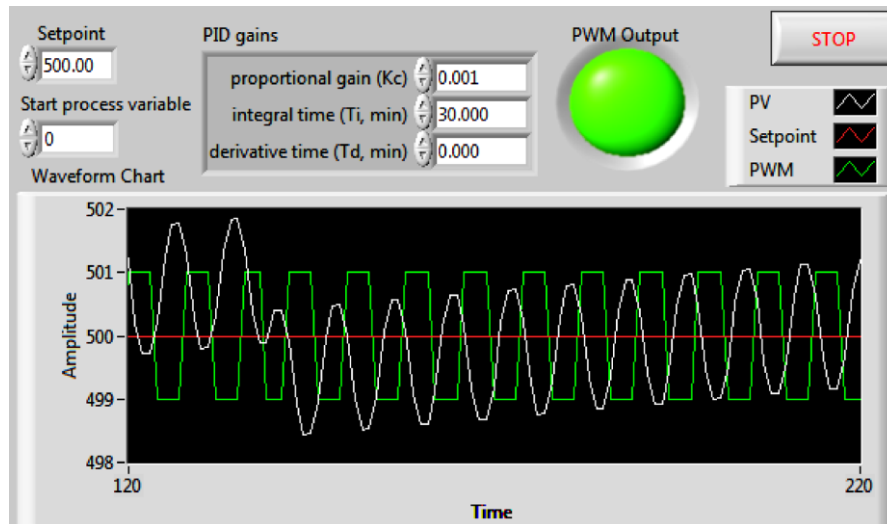
*Control PID:* Entre los Toolset que posee LabVIEW se encuentra una función o VI (acrónimo de Virtual Instrument) que posee el algoritmo para control PID, de fácil configuración en cualquier aplicación; el VI de control PID requiere como datos de entrada la variable de proceso, el set-point y los parámetros del controlador tales como la ganancia proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo. La respuesta del controlador se encuentra expresada en porcentaje de salida en un rango de 0 a 100 (aunque puede modificarse a través de la interfaz gráfica). Aunque la señal de salida del bloque PID en el código de LabVIEW es continua, la operación de la válvula es de forma discreta; para tratar de establecer una relación entre estos dos mecanismos, se programó una rutina que simula el funcionamiento de un PWM (Pulse Width Modulation) ya que es una técnica que modifica el ciclo de trabajo de una señal o fuente de energía a través de un “switchero constante”, Figura 39 presenta un ejemplo de la ejecución de un PWM sobre una variable de proceso en LabVIEW.

Figura 38. Interfaz Labview control de temperatura



1. Radio Button que permite seleccionar el modo de control de la temperatura.
2. Control numérico para ingresar el set-point de temperatura.
3. Indicador numérico de la temperatura en tiempo real.
4. Botón para abrir o cerrar la válvula cuando fue seleccionada la estrategia de control MANUAL.
5. Control numérico para ingresar el valor de los parámetros del controlador PID.
6. Indicador de la salida del controlador en un rango de cero a cien.
7. Gráfica de las mediciones on-line de la temperatura.
8. LED que indican el encendido o apagado de la válvula solenoide que maneja el flujo de agua de enfriamiento.

Figura 39. Ejemplo de la respuesta de un PWM en LabVIEW



Fuente: National Instruments. PID VI Used for PWM Control. NI Developer Community

En la rutina programada, la señal de salida del bloque PID es constantemente comparada con la respuesta que se dio en el ciclo anterior de ejecución del programa de tal forma que se pueden dar los siguientes casos:

- Si la señal generada por el controlador es mayor a la anterior implica que la válvula de control debería permitir mayor flujo de agua si ésta fuera de acción proporcional, por tanto la orden del PWM es abrir la válvula solenoide.
- Si la señal generada es menor a la anterior una válvula proporcional debería disminuir el flujo de agua, en este caso la orden del PWM es cerrar la válvula solenoide.
- Si la señal de salida del controlador se mantiene constante, la válvula solenoide permanece en la misma posición.

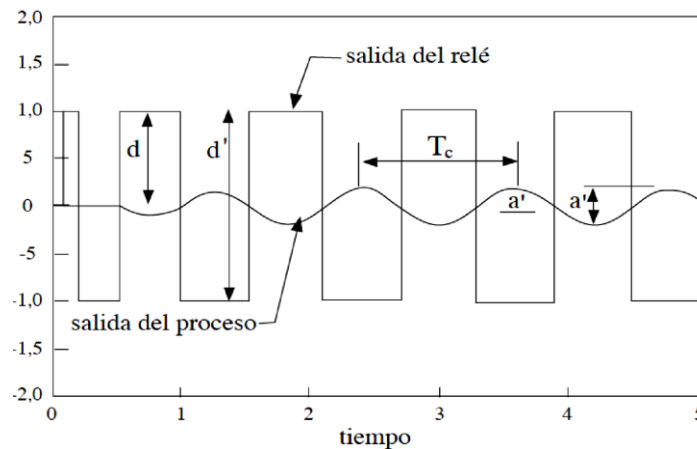
La temperatura ha sido una de las variables más estudiadas en el control de procesos, en el caso de las fermentaciones, el control PID es la estrategia más empleada, de tal forma que esta alternativa siempre debe ser considerada como una de las primeras estrategias a implementar y LabVIEW posee la capacidad de procesamiento necesaria para resolver los cálculos de este algoritmo.

La sintonización del controlador PID se convierte en un reto especial: el método convencional de ajuste del controlador es el propuesto por *Ziegler y Nichols* [30], para ello se debe caracterizar el proceso con parámetros como la ganancia y periodo últimos ( $K_{cu}$ ,  $T_u$ ) o un modelo de primer orden más tiempo muerto [31]; si se usa el método de lazo abierto con una prueba de escalón (el procedimiento más simple) es de esperar que la curva de reacción del proceso no presente la forma de S característica de los procesos de segundo orden o superior como lo demostró *Fuciños & Palleres* [32]; si se realiza el método de lazo cerrado o ajuste en línea en el cual se incrementa gradualmente la ganancia de un controlador proporcional hasta obtener un oscilación sostenida (estado en el cual el sistema alcanza la ganancia y periodo últimos) implicaría realizar un gran número de experimentos (un procedimiento desgastante ya que el proceso es discreto).

Como alternativa se podría obtener los parámetros últimos por el método de relé como lo proponen *Aström & Hägglund* [33], presentado en la Figura 40, en este caso, los parámetros últimos se pueden determinar con la ecuación Ganancia última y periodo último con el método de relé:

$$K_{Cu} = \frac{4d}{\pi a} = \frac{4d'}{\pi a'} ; \quad T_u = T_c \quad (37)$$

Figura 40. Respuesta de un sistema de control con relé



Fuente: ALFARO, V. M. Actualización del método de sintonización de controladores de Ziegler y Nichols. En: Ingeniería (Costa Rica). 2005. vol. 15, no. 1-2, p. 39-52

Si se selecciona la estrategia de control ON/OFF en la interfaz gráfica programada, en el mejor de los casos, se obtendrá una respuesta similar a la presentada en la Figura 40 ya que la válvula que manipula el flujo de agua es de funcionamiento análogo a un relé, de tal que se podrían calcular los parámetros últimos y sintonizar el controlador PID con las reglas de *Ziegler y Nichols*; en caso contrario, la alternativa de control ON/OFF será la más factible.

## 7.2 DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

### 7.2.1 NI CompactDAQ- 9174

Es un dispositivo fabricado por National Instrument que actúa como interfaz entre el computador y las señales de los sensores. La Figura 41 muestra el chasis con los tres módulos empleados.

Es capaz de medir un amplio rango de señales análogas y digitales de entrada y salida mediante una interfaz USB 2.0 de alta velocidad. El dispositivo está acompañado con un adaptador de 110 VAC a 9-30 VDC [18].

La Figura 42 presenta las partes principales del chasisNI cDAQ 9174 y la Tabla 15 muestra el estado del chasis según el color de los LEDs.

Figura 41. Tarjeta cDAQ

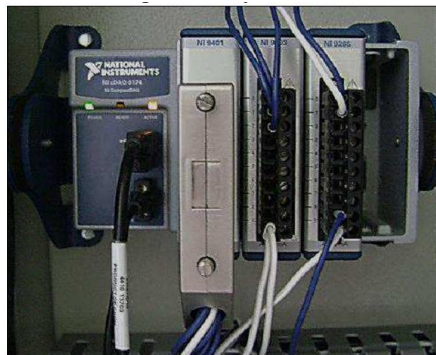
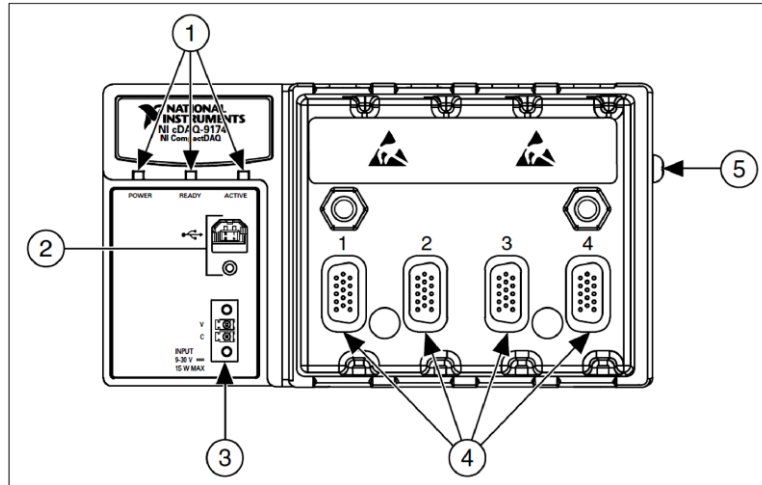


Figura 42. NI cDAQ 9174 Chassis



Fuente: NI cDAQ™-917x, User Manual, 2011, National Instruments Corporation.

1. LEDs de estado POWER, READY y ACTIVE.
2. Conector USB con protección ante tensiones.
3. Conector de alimentación de 9 – 30 VDC.
4. Ranuras de los módulos.
5. Tornillo de conexión a tierra del chasis.

Tabla 15. NI cDAQ 9174 LEDs de estado

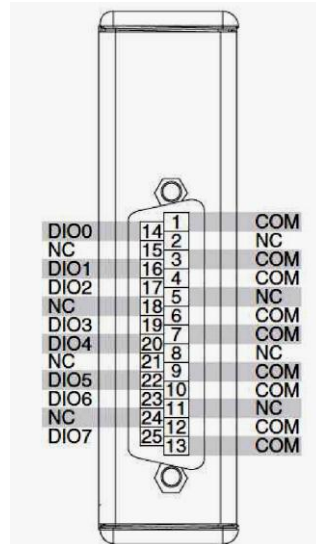
LED de estado	Color de LED		
	Apagado	Verde	Ámbar
ACTIVE	No hay comunicación USB presente/ suspendida	Comunicación USB presente	Sin configuración
READY	Conexión USB no está establecida/suspendida	Full-Speed (12 Mb/s)	Hi-Speed (480 Mb/s)
POWER	No hay potencia suministrada	Potencia suministrada	-

Fuente: NI cDAQ™-917x, User Manual, 2011, National Instruments Corporation.

### Módulo NI 9401 de Entrada/Salida Digital (DI/O)

Tiene un conector de puerto paralelo (DSUB) de 25 pin que proporciona conexiones para 8 canales de entradas o salidas digitales.

Figura 43. Asignaciones de Pin de NI 9401



Fuente: NI 9401, Operating Instruction and Specifications, 2008, National Instruments Corporation.

Cada canal tiene un pin DIO al cual se puede conectar un dispositivo de entrada o salida digital. Los ocho canales DIO son internamente referenciados a COM. Los ocho canales también tienen protección a sobretensión, sobrecorriente y cortocircuito.

El tipo de salida que se genera es TTL (Transistor-Transistor-Logic), las señales TTL tienen dos estados, Logic Lowy Logic High:

- Logic Low= 0 V a +0.8 V
- Logic High= +2 V a +5 V

Para el sistema fermentativo fueron configurados seis canales como salidas digitales y dos canales disponibles para futuras modificaciones, cada uno de los canales está conectado a un relé que activará un actuador específico, la Tabla 16 indica el dispositivo que está relacionado con cada uno de los canales del módulo NI 9401.

Tabla 16. Actuadores de las salidas digitales

<b>Digital Output</b>	<b>Actuador</b>
0	Sin conectar
1	Sin conectar
2	Sentido de giro del motor de agitación
3	Encender convertidor del motor de agitación
4	Bomba de ácido
5	Bomba de base
6	Válvula de agua
7	Válvula de N <sub>2</sub>

### **Módulo NI 9203 de entrada análoga (AI)**

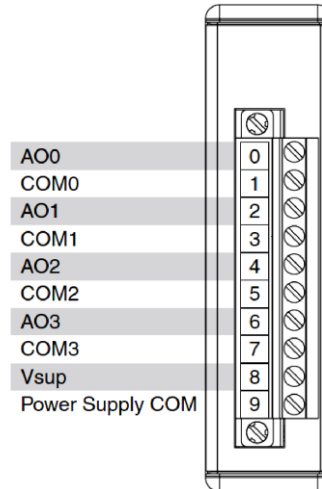
Tiene 10 terminales con conector de tornillo que proporciona conexiones para ocho canales de entradas análogas. Cada canal tiene un terminal AI al cual se puede conectar una señal de corriente. El NI 9203 también tiene un terminal común, COM, que es internamente conectado a la referencia de tierra del módulo. La señal de entrada es almacenada, acondicionada y muestreada por un convertidor análogo-digital (ADC) de 16 bit. La entrada nominal es de 0 a 20 mA.

Las entrada análoga que fue configurada para el proceso medible de temperatura Analog Input 0 temperatura.

### **Módulo NI 9265 de salida análoga (AO)**

Tiene 10 terminales, con conector de tornillo que proporciona conexiones para cuatro canales de salidas análogas.

Figura 44. Asignación de terminales de NI 9265



Fuente: NI 9265, Operating Instruction and Specifications, 2008, National Instruments Corporation.

Cada canal tiene un terminal común, COM, que es internamente conectado a la referencia de tierra del módulo. El NI 9265 también tiene un terminal para un suministro de potencia externo,  $V_{sup}$ , y un terminal común para suministro de potencia externo, Power Supply COM.

Cada canal AO tiene un convertidor digital-análogo (DAC) que produce una señal de corriente. Cada canal también tiene protección de sobretensión y corto-circuito.

Rango de salida de 0 a 20 mA.

El canal de salida análogo que fue configurado para la presente aplicación replica la señal de corriente proveniente del sensor de temperatura para mostrar su valor el controlador TZN4S del tablero de control

## 7.2.2 Controladores

### Controlador de Temperatura TZN4S

Marca Autonics, recibe señales de termocuplas, RTD o analógicas (corriente: 4-20 mA, voltaje: 1-5 VDC), tiene un display doble de cuatro dígitos (Valor de Proceso PV: Rojo, Valor de Ajuste SV: Verde), fuente de alimentación conmutada de 100 a 240 VAC, resolución de 0,1°C y precisión de  $\pm 3\%$  de lectura, dimensiones de 48 x 48 mm, salida en corriente de 4 a 20 mA.

Figura 45. Controlador de Temperatura TZN4S



Fuente: Controlador de temperatura, serie TZN, Autonics, <[http://autonics.com.mx/products/products\\_detail.php?catecode=02/01/01&db\\_uid=28](http://autonics.com.mx/products/products_detail.php?catecode=02/01/01&db_uid=28)>

## 7.2.3 Actuadores

### Válvula Solenoide de Agua

Marca UNI-D, modelo UW-10, normalmente abierta, requiere alimentación de 110 VAC, tiene cuerpo de bronce, conexión a tubería NPT de 3/8", orificio interno de 15 mm de diámetro, coeficiente de flujo CV de 2,4, trabaja con fluidos con una temperatura entre -5 °C y 80 °C, soporta presiones entre 0 y 5 bar para agua y aceites ligeros y de 0 a 7 bar para gases.

Figura 46. Válvula solenoide de agua



---

---

## BIBLIOGRÁFICAS

---

AIBA, Shuichi, HUMPHREY, E. Arthur, y MILLIS, F. Nancy. Biochemical engineering.. En: En: Biochemical Engineering.. University of Tokyo., 1973.

ALFARO, M. V. Actualización del método de sintonización de controladores de Ziegler y Nichols. En: Ingeniería (Costa Rica).., 2005. vol. 15, no. 1-2, p. 39-52.

ASTRÖM, J. y HÄGGLUND, T. K. Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins. En: Automatica., 1984. vol 20, no. 5, p. 645-651.

ATKINSON, Bernard. Reactores bioquímicos. Reverté,, 1986.

BAHL, et al. Hubert. Effect of pH and butyrate concentration on the production of acetone and butanol by Clostridium acetobutylicum grown in continuous culture. En: European journal of applied microbiology and biotechnology. 1982, vol. 14, no 1, p. 17-20.

BOILER, S. M. E. A. y CODE,, Pressure Vessel. Section VIII-Division I. Pressure Vessels, Section UG-27,, 1992, p. 24.

CACCIUTTOLO, A. M. y ARUNAKUMARI, A. Scale-up considerations for biotechnology-derived products. En: Drugs and the pharmaceutical Sciences. 2006, vol. 157, p. 129.

CACCIUTTOLO, Marco. Scale up Considerations for Biotechnology-Derived Products. New Jersey USA : Healthare USA. Capítulo 4., 2005.

CHOPEY, HICKS, T. N. Manual de Cálculos de Ingeniería Química. Mc Graw Hill., 1986.

COKER, Kayode. A.: Gulf Professional Publishing. 2001.

CORRIPIO, B. y SMITH, Carlos A. Armando. Control automático de procesos: Teoría y práctica. México: Limusa Noriega Editores., 2006. 717 p.

- COUPER, R. James, PENNEY, Roy W., y FAIR, R. James.: Gulf Professional Publishing. 2009.
- DOBLE, Mukesh, KRUTHIVENTI, Kumar Anil, y GAIKAR, Ganjanan (ed.). Vilas. Biotransformations and bioprocesses.: CRC Press, , 2004.
- DOBLE, Mukesh, KRUTHIVENTI, Kumar Anil, y GAIKAR, Ganjanan (ed.). Vilas.: CRC Press. 2004.
- DORAN, M. Pauline. Bioprocess engineering principles. Cap 4-13.: Academic Press, , 1995.
- DRAPCHO, M. Caye. Chapter 10. Microbial Modeling as Basis for Bioreactor Design for Nutraceutical Production. En: Functional food ingredients and nutraceuticals: processing technologies.: CRC Press. 2006.
- DÜRRE, Peter. Fermentative butanol production. En: Annals of the New York Academy of Sciences. 2008, vol. 1125, no 1, p. 353-362.
- ERTOLA, Rodolfo, YANTORNO, O., y MIGNONE, Carlos. Microbiología industrial. Centro de investigación y desarrollo en fermentaciones industriales. La Plata, Argentina: Kingraf, , 1999.
- FUCIÑOS, María y PALLARES, Andrea Katherine. Viviana. Selección de un modelo matemático y diseño de un sistema de control para la fermentación ABE a partir de glucosa empleando Clostridium acetobutylicum ATCC 824. Trabajo de grado Ingeniería Química., UIS. 2011 48 p.
- GAMBOA, Edwin y ALVAREZ, Robinson, "ACERO INOXIDABLE 316 y 316 L PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS," FUNDACION UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES, 2011.
- GRAU, Moreno S. y BERNAL, Bayo (ed.). J. Diseño de biorreactores y enzimología.: EDITUM, 1996.
- HAMROCK, Bernard, BO, Jacobson, y Y SCHMID, Steven. Elementos de máquinas, México, DF., (2000).
- HOCHFELD, L. William. Producing biomolecular substances with fermenters, bioreactors, and biomolecular synthesizers.: CRC Press, 2006.

JONES, T. David y WOODS, R. David. Acetone-butanol fermentation revisited.. En: Microbiological reviews,. 1986, vol. 50, no 4, p. 484.

KARANTHAND G., E. RAJ. Fermentation Technology and Bioreactor Design. Capítulo 1.03. 2nd ed., 2005.

LEE, M. James. "Biochemical Engineering". Albright's Chemical Engineering Handbook Capítulo 19.: Lyle F. Albright, 2008.

Ltda, Técnicas Representaciones. Fermentadores. [En línea].  
<http://www.rtlbio.com/index.php/fermentadores>

MONOT, Frédéric, ENGASSER, Jean-Marc, y PETITDEMANGE, Henri. Influence of pH and undissociated butyric acid on the production of acetone and butanol in batch cultures of *Clostridium acetobutylicum*.. En: Applied microbiology and biotechnology. 1984, vol. 19, no 6.

N Ganesh Karanth, Eugene Raj. A. Fermentation Technology and Bioreactor Design. Cap 1.03. En: Food Biotechnology, Second Edition. Food Science and Technology.: CRC Press.. 2005.

NAJAFPOUR, Ghasem. Biochemical engineering and biotechnology. Cap. 3-6.: Elsevier, , 2006.

QUINTERO, R. Escalamiento de Fermentaciones En Ingeniería Bioquímica Teoría y Aplicaciones. Mexico :Alhambra Mexicana., 1993, p.97-113.

QUINTERO, R. Escalamiento de fermentaciones.. En: Ingeniería Bioquímica. Teoría y Aplicaciones.: Ed. Alhambra Mexicana. 1993, p. 97-113.

QURESHI, N. y BLASCHEK, H. Evaluation of recent advances in butanol fermentation, upstream, and downstream processing.. En: Bioprocess and Biosystems Engineering. 2001, vol. 24, no 4, p. 219-226.

SILLA, Harry. Chemical process engineering: design and economics.: CRC Press, 2003.  
Statistics., Information Administration. International Energy Energy. [En línea].  
<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject>

TREYBAL, R. Operaciones de Transferencia de Masa. Mc Graw Hill, 2e., 1994..

YANG, X.1990.. Estados Unidos, Tesis Doctoral. Purdue University. Graduate School, p.100-217.

---

---

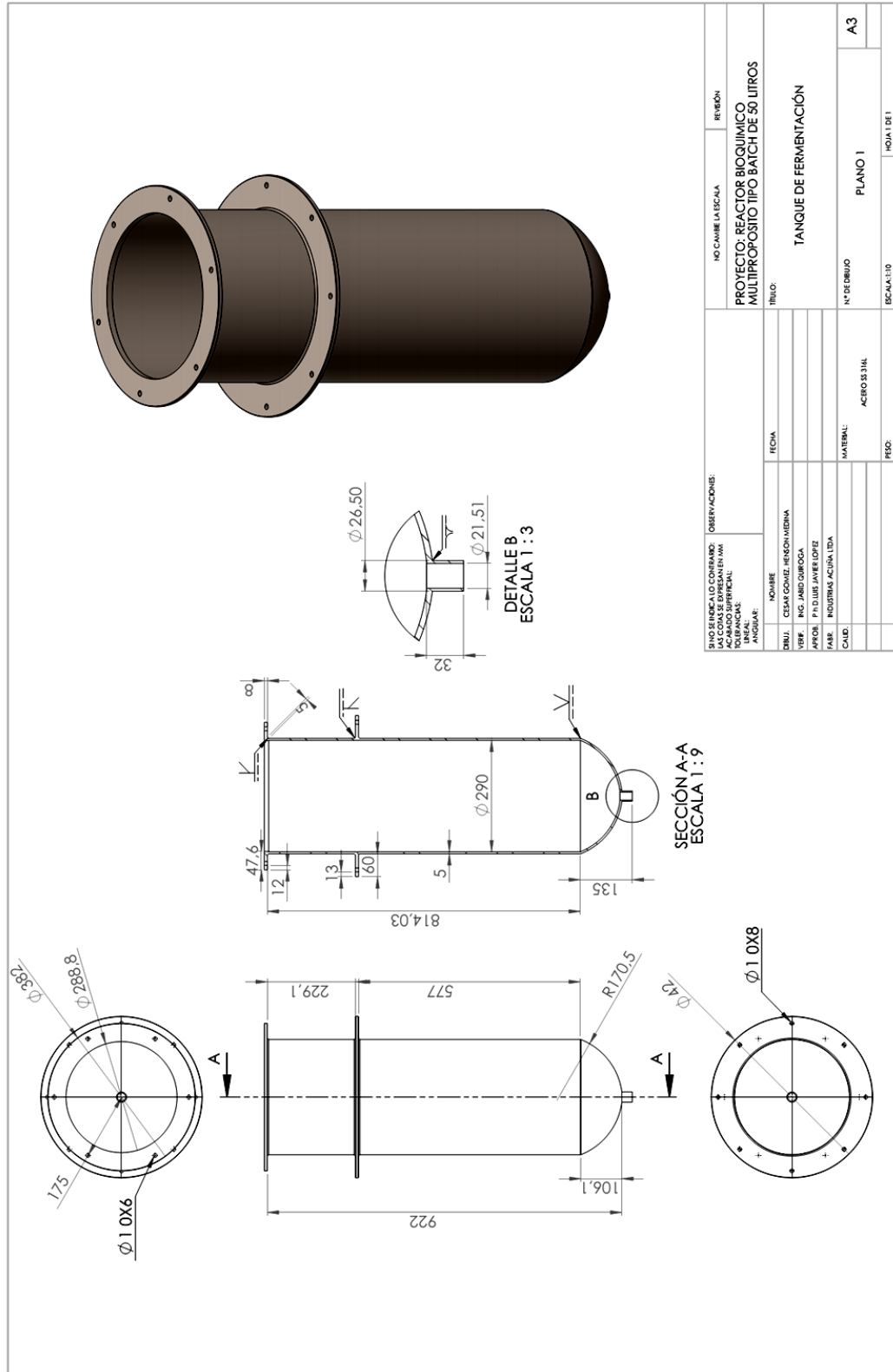
## ANEXOS

---

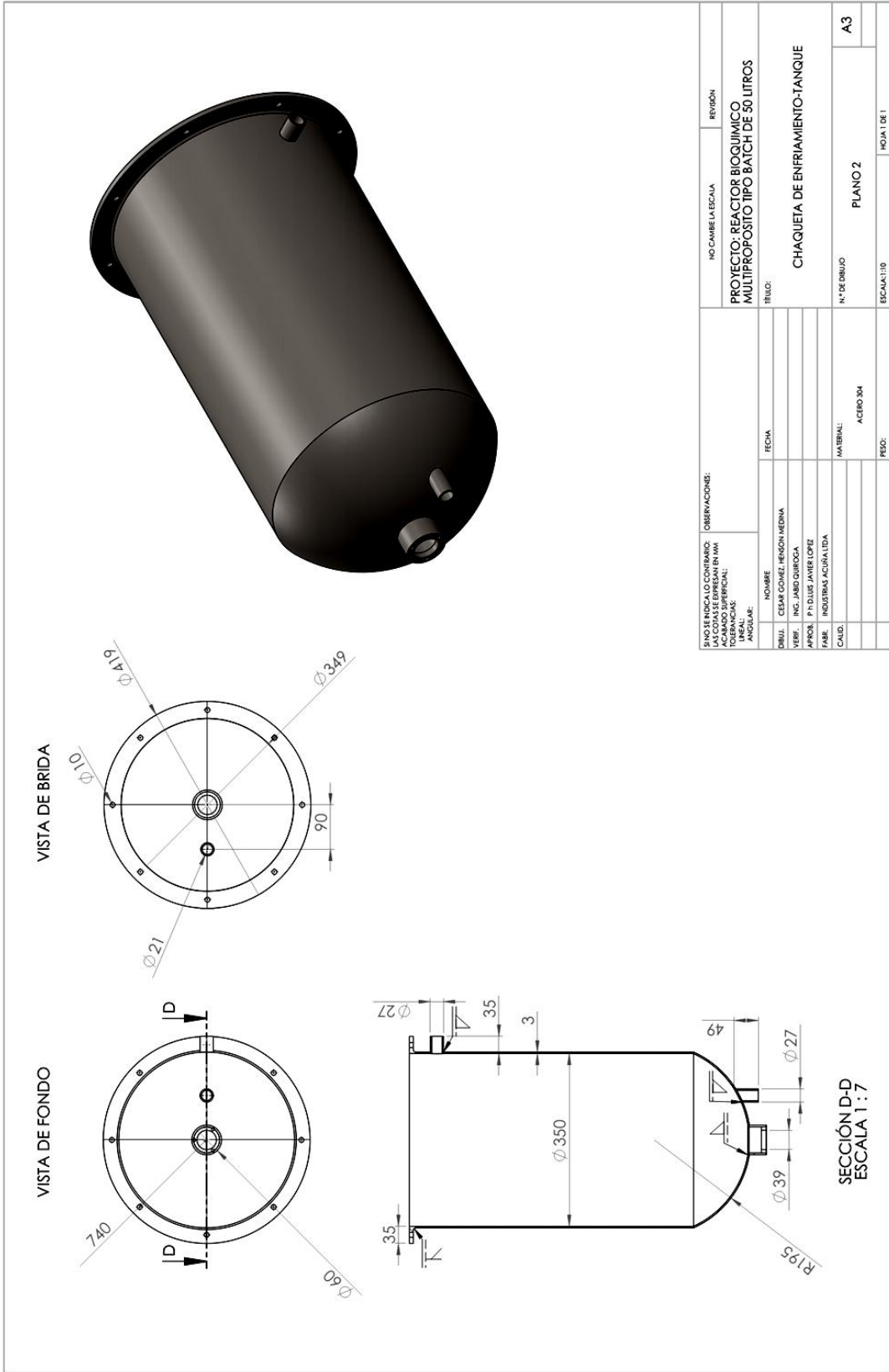
## Anexo 1. Propiedades Físicas y Mecánicas del acero inoxidable

TIPO DE ACERO	301	302	303 MX	303 Se	304	304L	305	308	309	309S	310	310S	316	316L	317	317L	321	347	348	
	ANÁLISIS - % VALOR QUÍMICO MÁXIMO EXCEPTO DONDE MUESTRA EL MÍNIMO	16-18 6-8 .15 2.0 1.0 .045 .030 --	17-19 8-10 .15 2.0 1.0 .045 .030 --	17-19 8-10 .15 2.0 1.0 .20 .15 --	17-19 8-10 .15 2.0 1.0 .20 .060 .15 Min Se	18-20 8-10.5 .08 2.0 1.0 .045 .030 --	18-20 8-10 .03 2.0 1.0 .045 .030 --	17-19 10.5-13 .12 2.0 1.0 .045 .030 --	19-21 10-12 .08 2.0 1.0 .045 .030 --	22-24 12-15 .20 2.0 1.0 .045 .030 --	22-24 12-15 .08 2.0 1.0 .045 .030 --	24-26 19-22 .25 2.0 1.5 .045 .030 --	24-26 19-22 .08 2.0 1.5 .045 .030 --	16-18 10-14 .08 2.0 1.0 .045 .030 --	16-18 10-14 .03 2.0 1.0 .045 .030 --	18-20 11-15 .08 2.0 1.0 .045 .030 --	18-20 11-15 .03 2.0 1.0 .045 .030 --	17-19 9-12 .08 2.0 1.0 .045 .030 --	17-19 9-13 .08 2.0 1.0 .045 .030 --	17-19 9-13 .08 2.0 1.0 .045 .030 --
PROPIEDADES MECÁNICAS (TEMPLADO):	40,000 110,000 60 170 85 110 18,000 28 72 1.02 1500 1650	40,000 90,000 50 163 85 110 17,000 28 72 1.02 1400 1650	35,000 90,000 50 160 84 80 -- 28 72 1.02 1400 1650	35,000 90,000 50 160 84 80 -- 28 72 1.02 1400 1650	35,000 84,000 55 149 80 110 17,300 28 72 1.02 1600 1700	33,000 81,000 55 149 80 110 17,300 28 72 1.02 1600 1700	38,000 81,000 55 149 80 110 17,200 28 72 1.01 1500 1650	35,000 85,000 50 150 80 110 17,000 28 72 1.02 1700 1800	45,000 95,000 45 170 85 110 15,900 29 78 1.02 1850 1950	45,000 95,000 45 170 85 110 15,900 29 78 1.02 1850 1950	45,000 95,000 45 170 85 90 17,500 29 78 1.01 1900 2050	45,000 95,000 45 170 85 90 17,500 29 78 1.01 1900 2050	42,000 84,000 50 149 80 110 24,500 28 74 1.02 1600 1700	39,000 81,000 50 149 80 110 24,500 28 74 1.02 1600 1700	40,000 90,000 45 163 85 110 24,000 28 74 1.02 1600 1700	40,000 90,000 45 163 85 110 24,000 28 74 1.02 1600 1700	35,000 90,000 45 160 84 110 18,000 28 72 1.02 1550 1650	40,000 95,000 45 160 85 110 19,300 28 73 1.02 1550 1650	40,000 95,000 45 160 85 110 19,300 28 73 1.02 1550 1650	
ESTUERO de fluencia psi (0.2% Compensación)	40,000	40,000	35,000	35,000	35,000	33,000	38,000	35,000	45,000	45,000	45,000	45,000	42,000	39,000	40,000	40,000	35,000	40,000	40,000	
ESTUERO último psi	110,000	90,000	90,000	90,000	84,000	81,000	81,000	85,000	95,000	95,000	95,000	95,000	84,000	81,000	90,000	90,000	90,000	95,000	95,000	
Elongación % 2" (100mm) en	60	50	50	50	55	55	55	50	45	45	45	45	50	50	45	45	45	45	45	
Dureza: Brinell BHN	170	163	160	160	149	149	149	150	170	170	170	170	149	149	163	163	160	160	160	
Rockwell B	85	85	84	84	80	80	80	80	85	85	85	85	80	80	85	85	84	85	85	
Impacto Izod, Ft. - lbs	110	110	80	80	110	110	110	110	110	110	90	90	110	110	110	110	110	110	110	
Creep - 1% flujo en 10,000 hrs	18,000	17,000	--	--	17,300	17,300	17,200	17,000	15,900	15,900	17,500	17,500	24,500	24,500	24,000	24,000	18,000	19,300	19,300	
Módulo elasticidad en tensión psi x 10 <sup>6</sup>	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	
Resistividad eléctrica en microm a 68 ° F	72	72	72	72	72	72	72	72	78	78	78	78	74	74	74	74	72	73	73	
Permeabilidad magnética a 200H	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	
Máx. temperatura de operac. - servicio intermitente* F	1500	1400	1400	1400	1600	1600	1500	1700	1850	1850	1900	1900	1600	1600	1600	1600	1550	1550	1550	
Servicio continuo* F	1650	1650	1650	1650	1700	1700	1650	1800	1950	1950	2050	2050	1700	1700	1700	1700	1650	1650	1650	
(in./in. <sup>2</sup> F x 10 ) 32 - 212 ° F	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	8.3	8.3	8.0	8.0	8.9	8.9	8.9	8.9	9.3	9.3	9.3	
32 - 1200 ° F	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.0	10.0	9.7	9.7	10.1	10.1	10.3	10.3	10.7	10.6	10.6	
(B.T.U./ft. <sup>2</sup> hr / ° F in.) y	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	8.8	8.0	8.0	8.0	8.0	9.4	9.4	9.4	9.4	9.3	9.3	9.3	
CONDUCTIVIDAD 212 ° F TÉRMICA	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.5	10.8	10.8	10.8	10.8	12.4	12.4	12.4	12.4	12.8	12.8	12.8	

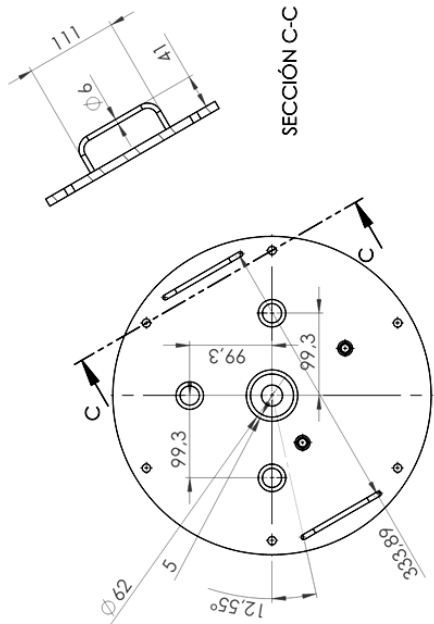
## ANEXO 2. Planos de construcción



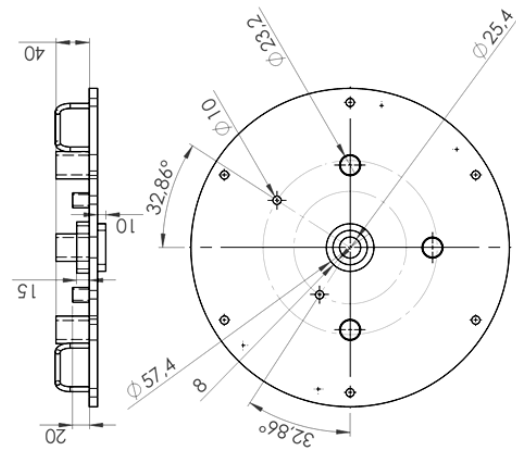
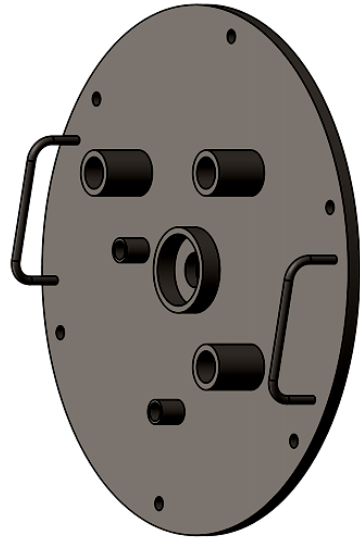
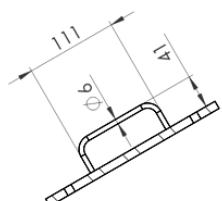
SINO SE INDICAO CONTRA: LAS COTAS SE ENTENDEN EN MM DEBEN Ponerse UNIDADES ANGULARES		OBSERVACIONES:		NO. CAMBIO LA ESCALA	REVISION
TITULO		PROYECTO: REACTOR BIOQUIMICO MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS			
FECHA		TANQUE DE FERMENTACION			
DISEÑADOR: CESAR GOMEZ HEREDIA		Nº DE DIBUJO			
VERIFICADOR: ING. JAVIER GONZALEZ		PLANO 1			
AUTOR: P.D. LOS JAVIER GONZALEZ		MATERIAL: ACERO SS 316L			
PARE: INDIRRADIACION		PESO:			
CALD:		BCMA.1.10			
		HOJA 1 DE 1			
		A3			



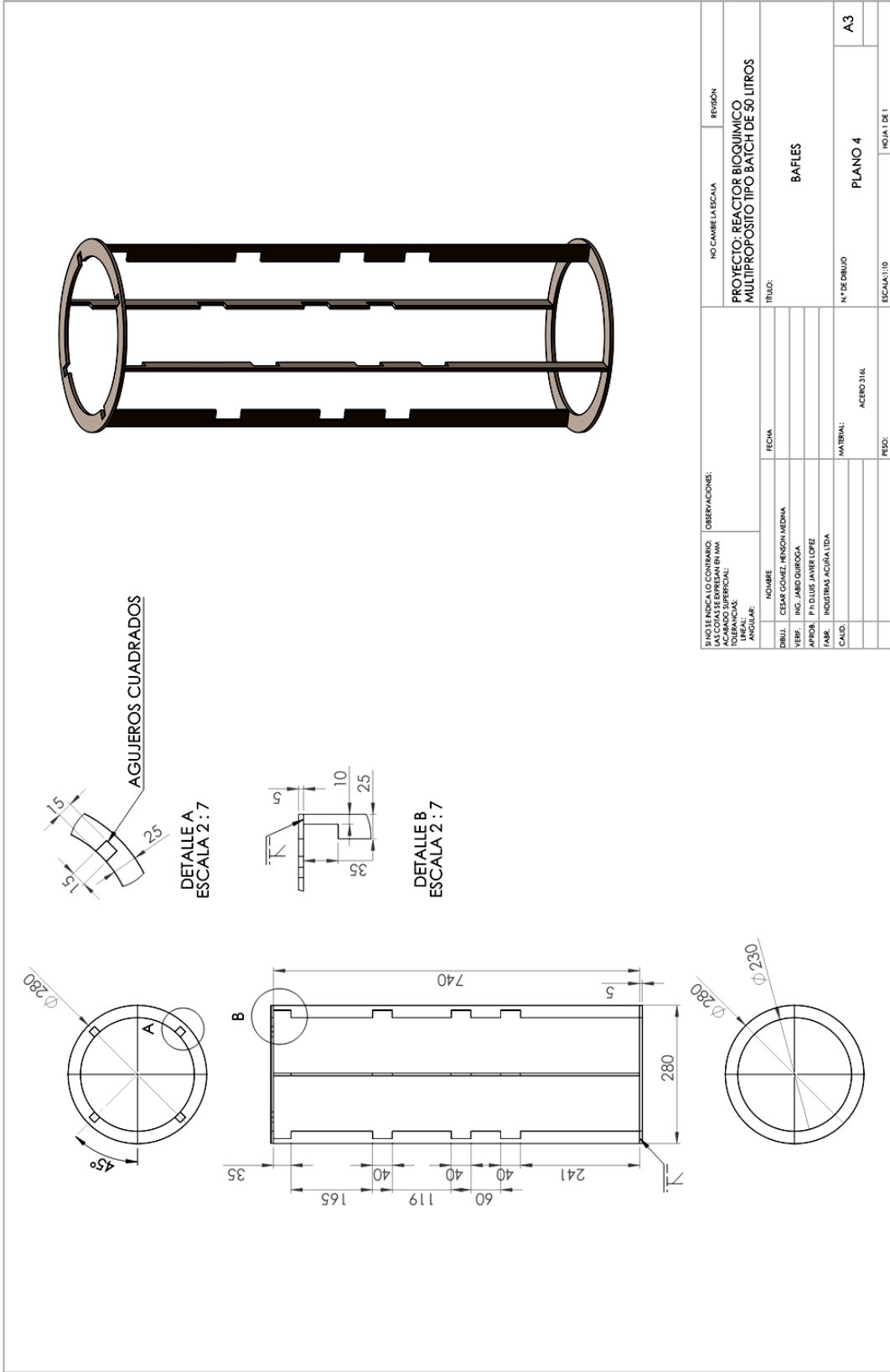
DATOS DEL DISEÑO, LOS CONTRIBUYENTES Y LA ENTIDAD RESPONSABLE DEL DISEÑO		OBSERVACIONES:		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
PROYECTO:	REACTOR BIOQUIMICO MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS						
TÍTULO:	CHAQUETA DE ENFRIAMIENTO-TANQUE						
NOMBRE:	CESAR CONEJER-HENSON MEDINA						
DISEÑO:	ING. JAIRO QUIROGA						
VERIFICADO:	ING. PATRICIA JIMENEZ LOPEZ						
FABRIL:	INDUSTRIAS ACQUA LTDA						
MATERIAL:	ACERO 304						
ESCALA:	1:10						
Nº DE DIBUJO:	PLANO 2						
						HOJA 1 DE 1	



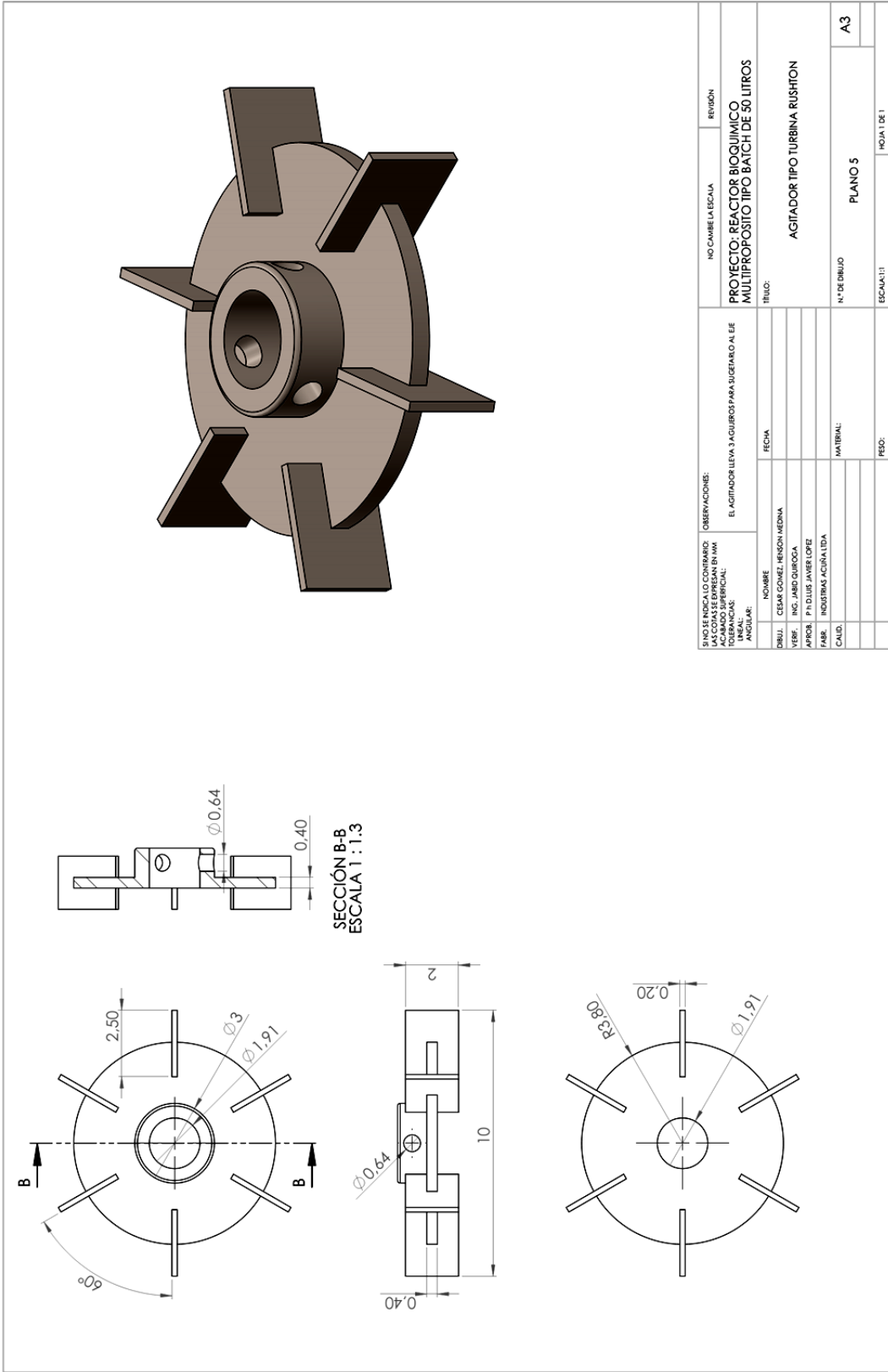
SECCIÓN C-C



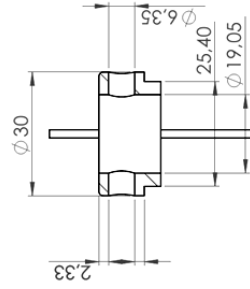
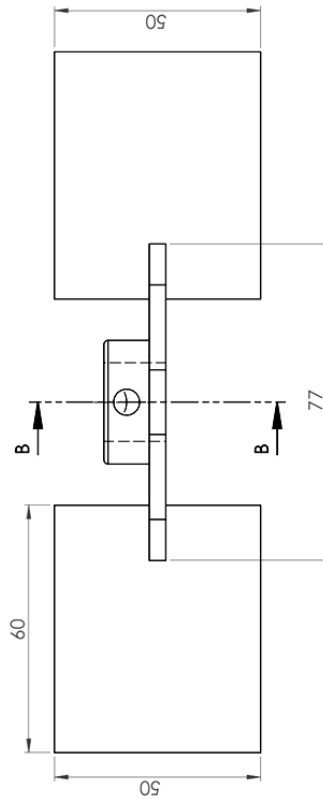
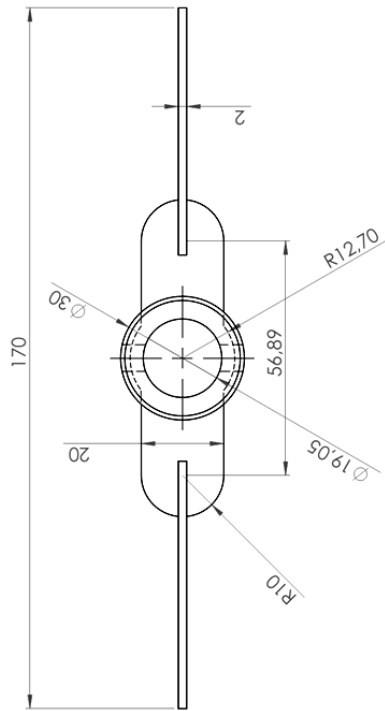
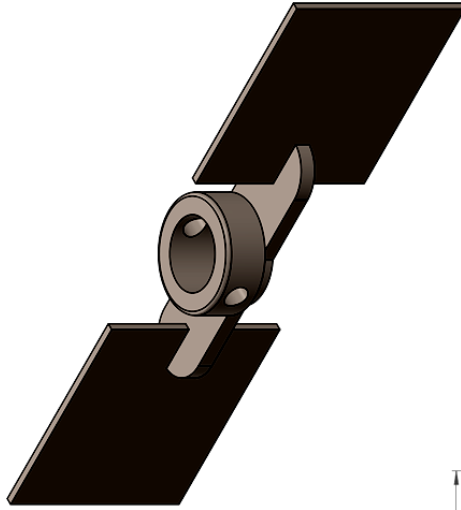
SIN O SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO SUPERFICIAL: EN MM TOLERANCIAS: ANGULAR:		OBSERVACIONES: 6 AGUJEROS EN LA TAPA PARA BRIDA DE 10MM		NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.: CESAR COBOS HERNANDEZ VERIF.: ING. JABO QUISPE APROB.: FIDELIS JAVIER LOPEZ PAISE: INDUSTRIAS AGRICOLA SIDA CALD.:		TITULO: TAPA TANQUE		PROYECTO: REACTOR BIOQUIMICO MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS	
NOMBRE: FECHA:		N° DE DIBUJO: PLANO 3		ESCALA: 1:5 HOJA 1 DE 1	
MATERIAL:		PESO:		A3	



TITULO: NO CAMBIA LA ESCALA REVISION:	
PROYECTO: REACTOR BIOQUIMICO MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS	
TITULO: BAFLES	
OBSERVACIONES:	FECHA:
DISEÑADOR: CESAR GOMEZ, HENSON MEDINA	VERIFICADOR: ING. JARBO OLIVERA
APROBADO: P. D. LUIS JAVIER LOPEZ	MATERIAL: ACERO 316L
FABRICANTE: INDUSTRIAS ACQUA LTDA.	N° DE DIBUJO: PLANO 4
CALIDAD:	ESCALA: 1:10
PESO:	HOJA 1 DE 1

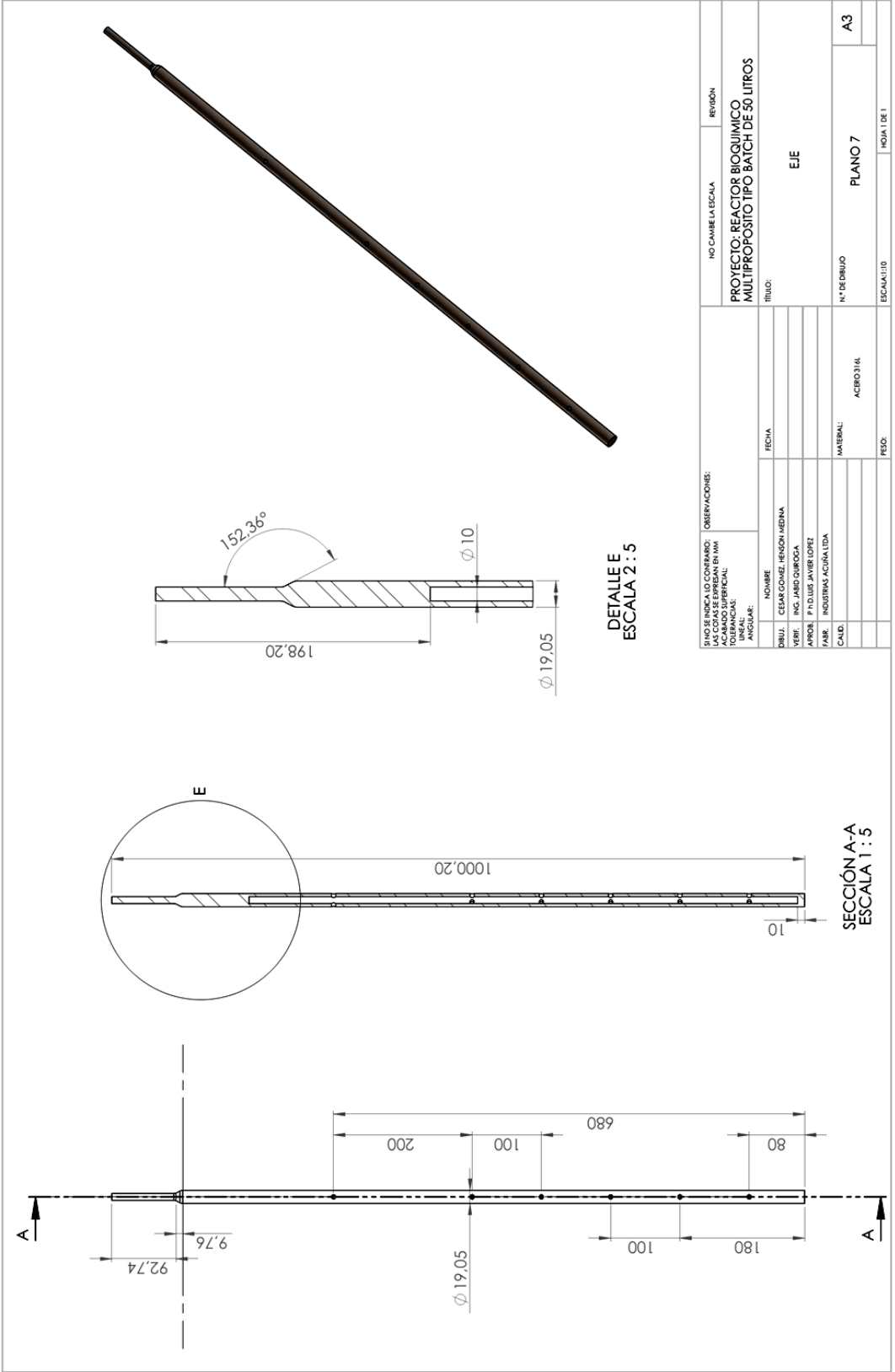


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: DIBUJ.   CEAR COMET HENSON MEDINA VERSE   ING. JAMES LOPEZ ACABADO SUPERFICIAL: TOBERNICAS: ANCLAJE: ANGULAR:		OBSERVACIONES: EL AGITADOR LLEVA 3 AGUJEROS PARA SUGERIRLO AL LEE	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISION
PROYECTO: REACTOR BIOQUIMICO MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS		TITULO: AGITADOR TIPO TURBINA RUSHTON		
NOMBRE: CEAR COMET HENSON MEDINA		N° DE DIBUJO PLANO 5		
VERSE   ING. JAMES LOPEZ		MATERIAL: PLANO 5		
FABR.   INDUSTRIA AGRIALIDA		ESCALA: 1:1		
CALID.		PESO:		
		HOJA 1 DE 1		



SECCIÓN B-B

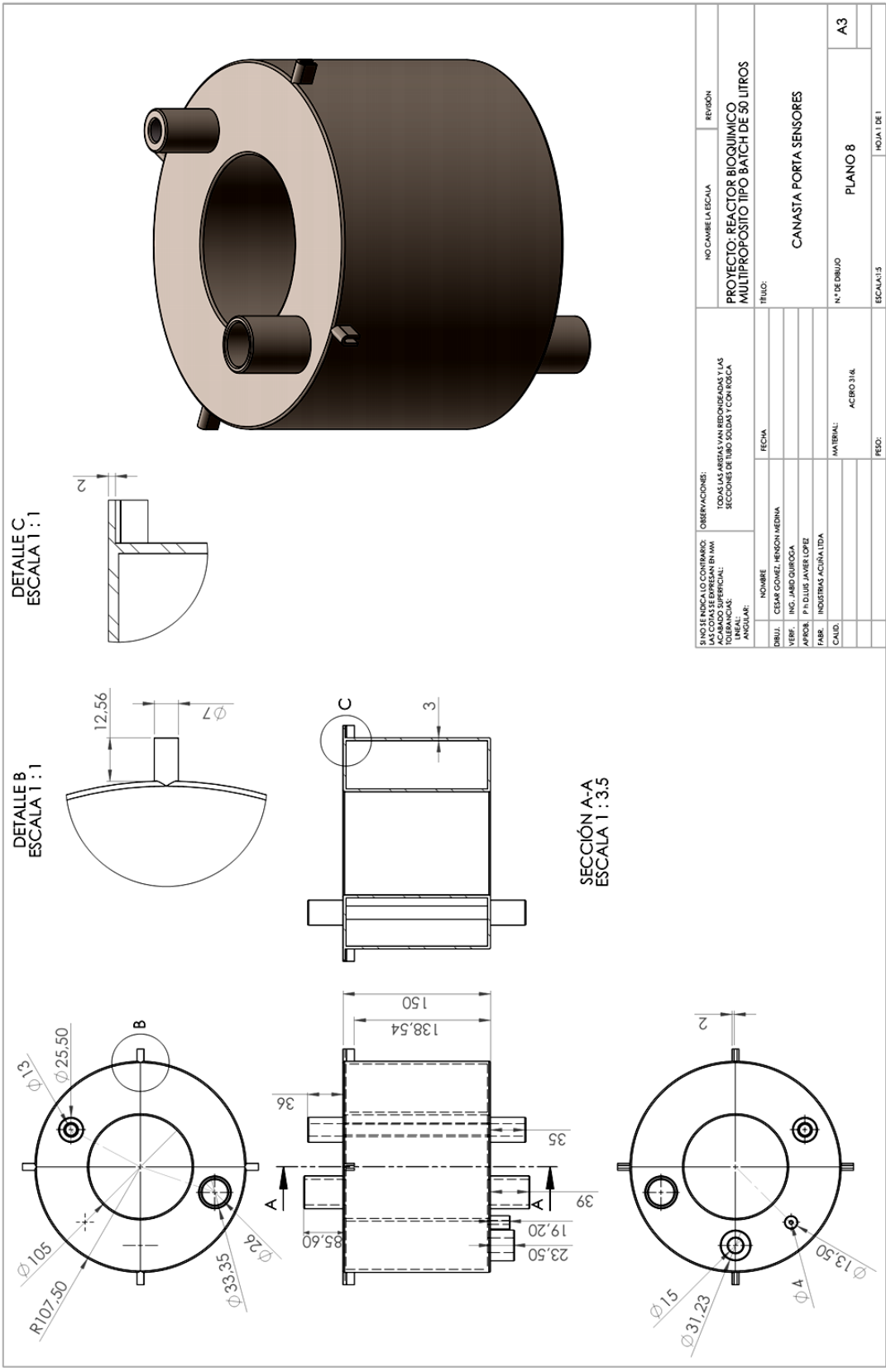
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: TOLERANCIAS: ANGULAR:		OBSERVACIONES:		NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.   CELMAR CORREA   HERSON MEDINA		FECHA		PROYECTO: REACTOR BIOQUIMICO MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS	
VERIF.   INC. JARDUQUICHA		NOMBRE		TITULO:	
APROB.   P. D. LOS JAVIER LOPEZ		DISEÑO		CORTADOR DE ESPUMA	
FABR.   INDUSTRIAS AGRIQUITA		MATERIAL:		N° DE DIBUJO	
CALD.		ACERO 316L		PLANO 6	
PESO:		ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 1	
				A3	



DETALLE E  
ESCALA 2 : 5

SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 5

NO CAMBIA LA ESCALA		REVISIÓN
PROYECTO: REACTOR BIOQUIMICO MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS		
TÍTULO:		
EJE		
MATERIAL: ACERO 316L		
N° DE DIBUJO PLANO 7		
ESCALA: 1:1		
PESO:		
FECHA:		
OBSERVACIONES:		
DIBUJO: CÉSAR GONZÁLEZ HERNÁNDEZ VERIFICADO: ING. JAIRO GIMÉNEZ DISEÑADO: P. HOLIBUS JAVIER GÓMEZ PAÍS: COLOMBIA CALIDAD: INDUSTRIAL	DIBUJO: NO CAMBIA LA ESCALA REVISIÓN:	DIBUJO: NO CAMBIA LA ESCALA REVISIÓN:

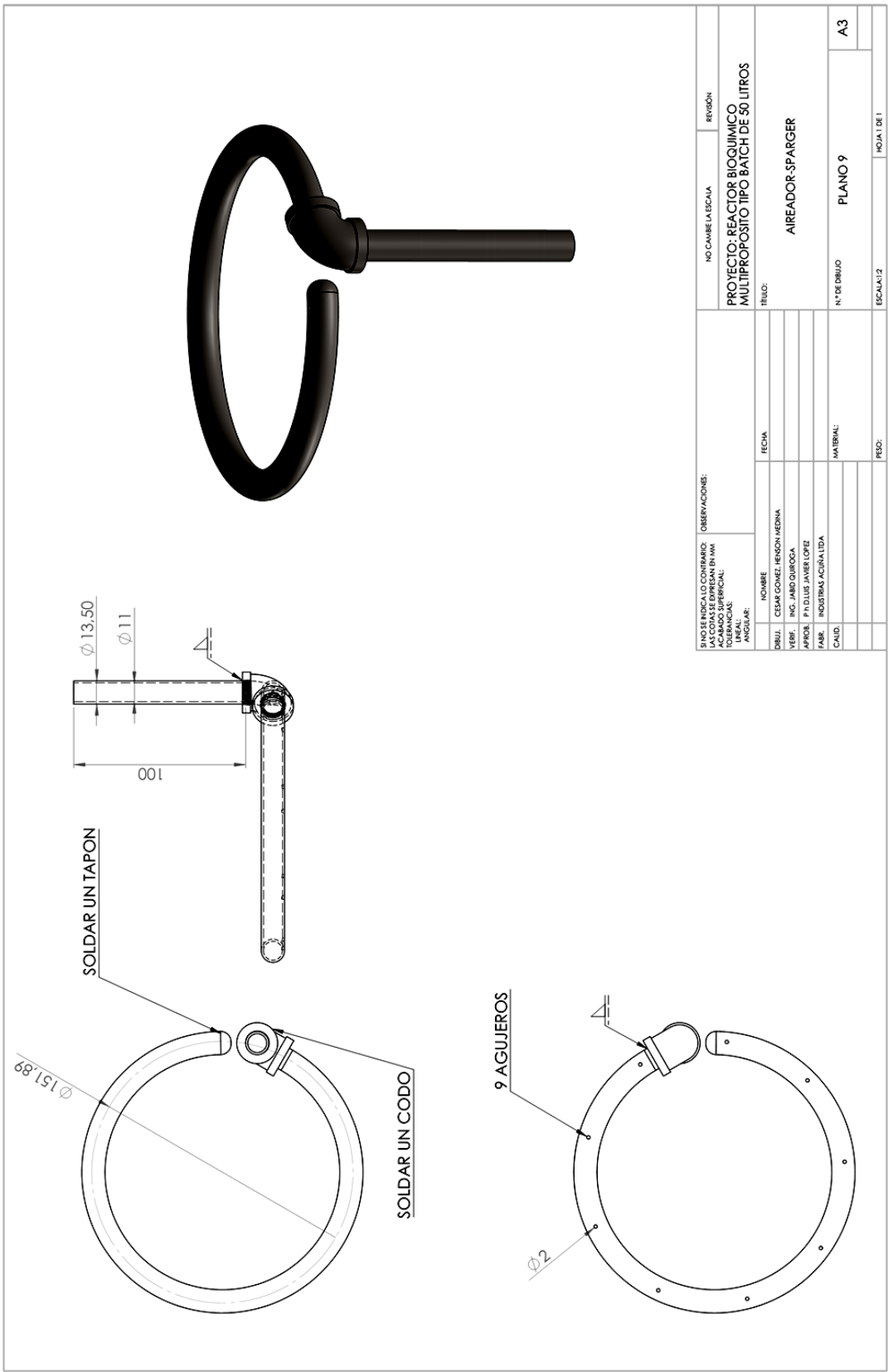


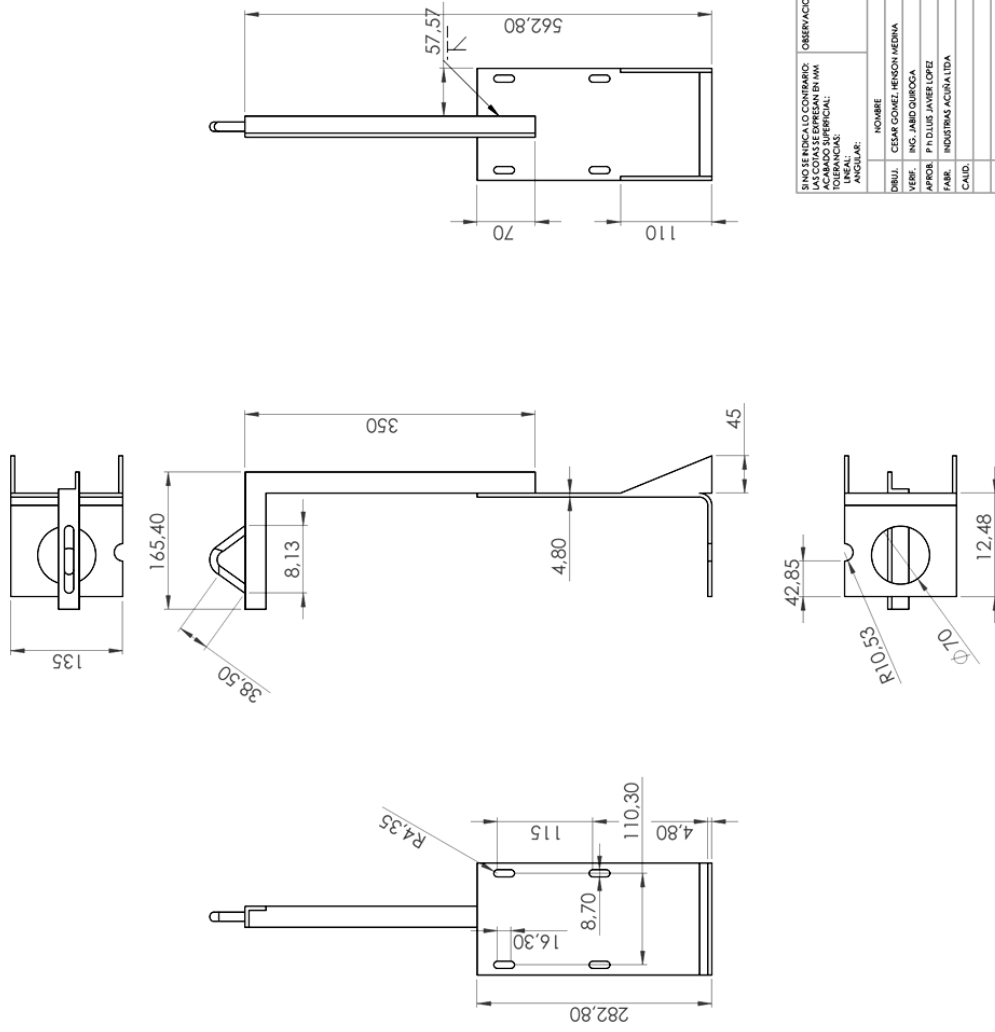
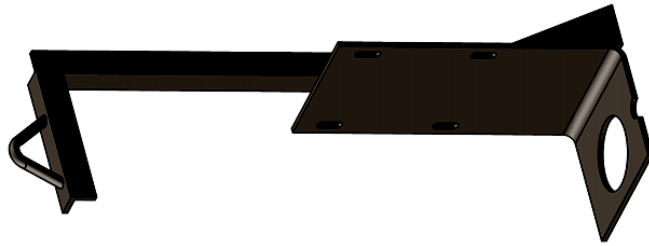
DETALLE C  
ESCALA 1 : 1

DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

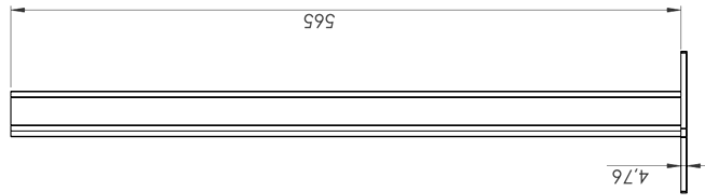
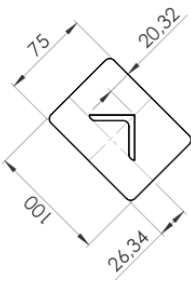
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 3.5

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: TOLERANCIAS EN MM ACABADO SUPERFICIAL: ANGULAR:		OBSERVACIONES: TODAS LAS ARISTAS VAN REDONDEADAS Y LAS SECCIONES DE TUBO SOLDADAS Y CON ROSCA		NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
PROYECTO: REACTOR BIOQUIMICO MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS		TÍTULO:		CANASTA PORTA SENSORES	
DIBUJ: CESAR GONZALEZ HENSON MEDINA		FECHA:		Nº DE DIBUJO	
VERIF: ING. JORDI QUINCOGA				PLANO 8	
APROB: P. J. DILLUS JAVIER LOPEZ				A3	
FABR: INDUSTRIAS ACRINA LTDA		MATERIAL: ACERO 316L		ESCALA: 1:5	
CALID:		FECD:		HOJA 1 DE 1	



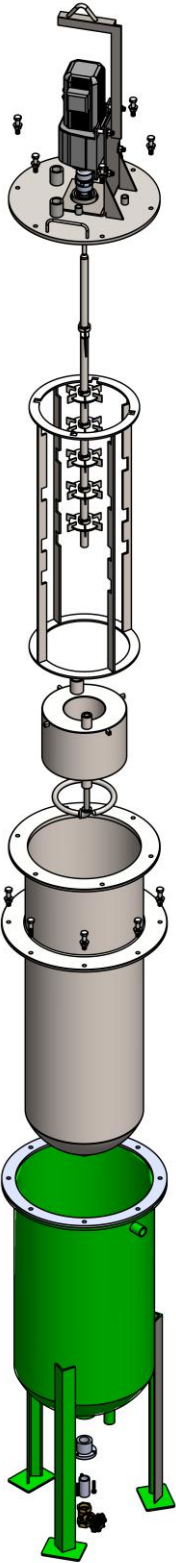


ANTES DE SER USADO, LEER MANUAL DE INSTRUCCIONES Y PRECAUCIONES. ACABADO SUPERFICIAL: UNIDAD: ANGULAR:		OBSERVACIONES: NO CAMBIE LA ESCALA		REVISION
PROYECTO: REACTOR BIOQUIMICO MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS		TITULO: PORTAMOTOR		A3
NOMBRE: CESAR GOMEZ HENSON MEDINA		FECHA:		
VERSE: ING. JARDINEROS		MATERIAL: ACERO 1020		ESCALA: 1:5
APORTE: P. D. J. LUIS JAVIER OJEA		N° DE DIBUJO: PLANO 10		HOJA 1 DE 1
PAISE: INDUSTRIA AGRICOLA		PESO:		
CALID:				



EN LA UNIDAD, LOS CONTENIDOS LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		OBSERVACIONES:		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISION:
ACABADO SUPERFICIAL:				<b>PROYECTO: REACTOR BIOQUIMICO          MULTIPROPOSITO TIPO BATCH DE 50 LITROS</b>		
TOLERANCIAS:				TITULO:		
ANGULAR:				<b>SOPORTE-TIPO TRIPODE</b>		
DIBUJ.: VERDE: APROB.: FARE: CALD.:	NOMBRE: CESAR GOMEZ HENSON MEDINA ING. JAIMO QUIROGA PATOLUIS JAMER LOPEZ INDUSTRIAL ACQUA ITALIA	FECHA:    				
		MATERIAL:		N° DE DIBUJO:		A3
		ACERO 1045		PLANO 11		
		PEO:		ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1

**ANEXO 3. Vista explosionada**



## ANEXO C. Protocolos de preparación y descarga del fermentador

### Preparación del fermentador

1. Desconectar los sensores de los controladores.
2. Descargar el ácido y la base que se encuentren en las mangueras que salen de las bombas.
3. Poner los extremos de las mangueras en el lavamanos.
4. Levantar la tapa y el eje de agitación con el equipo-grúa.
5. Limpiar el interior del tanque, el eje de agitación, los baffles y la canasta con desinfectante (hipoclorito de sodio al 0,05% *v/v*).
6. Quitar la protectora de del electrodo de *pH*.
7. Enjuagar el electrodo de *pH* con agua destilada.
8. Colocar los baffles y la canasta en el interior del tanque.
9. Bajar la tapa lentamente hasta una altura de 30cm sobre el borde superior del fermentador.
10. Conectar en la cara inferior de la tapa la manguera del sparger, la manguera de toma de muestras, la manguera de los sensores y las mangueras de ácido y base.
11. Bajar la tapa completamente.
12. Cerrar el fermentador ajustando las tuercas que están en posiciones opuestas.
13. Conectar la manguera de  $N_2$  a la entrada del sparger, la manguera de toma de muestras a la jeringa, las mangueras de ácido y base a las válvulas correspondientes.
14. Conectar los sensores a los controladores.
15. Llenar las botellas contenedoras de ácido y base a un volumen de 3 litros.
16. Revisar las conexiones de las bombas y ajustar si es necesario.
17. Abrir el cilindro contenedor de  $N_2$  y ajustar la presión.

18. Cargar el fermentador con el medio de crecimiento e inóculo usando un embudo.
19. Encender el tablero de control.
20. Iniciar el programa de monitorización presionando el botón RUN.
21. Preparar las bombas: Girar 1/4 la perilla negra ubicada sobre la cabeza de la bomba, encender las bombas de ácido y base a través del programa de monitorización, esperar que las mangueras se presuricen y se llenen de solución, apagar las bombas a través del programa de monitorización, devolver el cuarto de giro de la perilla negra.
22. Purgar el medio de crecimiento: Abrir la válvula solenoide de  $N_2$  a través del programa de monitorización, dejar el suministro de  $N_2$  hasta que la concentración de oxígeno medido alcance un valor estable, cerrar la válvula solenoide de  $N_2$  a través de programa.
23. Abrir la llave de paso de agua de enfriamiento.
24. Encender el motor de agitación a través del programa de monitorización, ajustar la velocidad con la perilla ubicada en el tablero de control.
25. Presionar el botón de guardar datos en el programa de monitorización.
26. Seleccionar del modo de control para cada una de las variables.
27. Inicio de la fermentación.

## **Descarga del fermentador**

1. Detener el programa de monitorización presionando el botón STOP en la pestaña PAGINA PRINCIPAL.
2. Bajar los breaker de corriente en el tablero de control.
3. Cerrar la llave de paso de agua de enfriamiento.
4. Cerrar el cilindro contenedor de  $N_2$  y liberar el flujo presente en la tubería abriendo una de las llaves de paso de salida.
5. Desconectar los sensores de los controladores.
6. Desconectar de la cara superior de la tapa: la manguera de  $N_2$ , la manguera de toma de muestras y las mangueras de ácido y base (PRECAUCIÓN ANTE EL GOTEO AL DESAJUSTAR).

7. Descargar el ácido y la base que se encuentren en las mangueras.
8. Poner las válvulas de las mangueras de ácido y base en el lavamanos.
9. Vaciar el tanque de fermentación abriendo la llave de paso ubicada en la parte inferior.
10. Desajustar las tuercas de la tapa del fermentador.
11. Usando el equipo-grúa levantar lentamente la tapa y desconectar de su cara inferior: la manguera del sparger, la manguera de toma de muestras, las mangueras de ácido y base y la manguera de los sensores.
12. Levantar completamente la tapa y el eje de agitación.
13. Sacar la canasta y los baffles del interior del tanque.
14. Enjuagar con agua destilada el electrodo de *pH* y colocar la tapa protectora.
15. Limpiar el interior del tanque, el eje de agitación, los baffles y la canasta.
16. Bajar la tapa completamente usando el equipo-grúa

**Nota: Es obligatorio usar bata para laboratorio de manga larga, guantes y protección para el rostro**

## ANEXO 4. Ficha técnica del Motor-reductor SEW R17

### Motor-reductores serie R



El programa de motor-reductores de engranajes cilíndricos abarca todos los tamaños y potencias posibles y permite realizar de forma óptima cualquier tarea de accionamiento. Asimismo, los reductores de varias etapas ofrecen una característica especial en el caso de que se requiera una instalación de peso reducido: gracias al uso de la fundición de aluminio, los modelos R07, R17 y R27 son especialmente ligeros e idóneos como accionamientos satélites y para el uso en estructuras de máquinas ligeras. Para llevar a cabo tareas de extrema precisión, los reductores de engranajes cilíndricos también están disponibles en una versión con juego reducido.

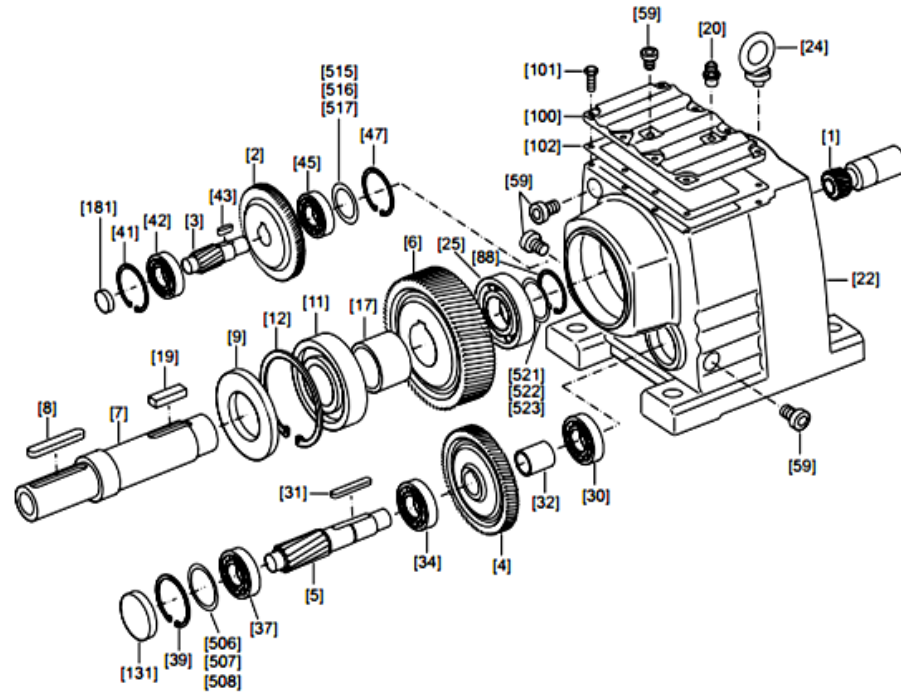
- Serie de motor-reductores de engranajes helicoidales coaxiales de 1, 2 y 3 etapas de reducción.
- Alto torque y fuerzas radiales admisibles.
- Alta eficiencia.
- Larga vida útil en servicio severo.
- Baja vibración y bajo ruido.
- También disponibles como reductores multietapas (duplos).
- Velocidad de salida: Desde 0.06 Hasta 1340 rpm.
- Torque de salida: Hasta 18000 Nm.
- Rango de potencia motores: Desde 0.12 Hasta 160 kW

Mayor eficiencia en cada situación. La variedad de tamaños permite responder a todo tipo de exigencias. Para velocidades altas de salida, las series RX57 a RX107, reductores de una etapa, ofrecen soluciones compactas. Y en aquellos casos en los que el peso del equipo es clave, tenemos algo especial que ofrecer dentro de nuestra gama de reductores multi etapa: los modelos R17 y R27 gracias a su carcasa de aluminio son especialmente ligeros: ideales para accionamientos de satélites y para construcciones de maquinaria ligera. Todos los diseños disponen de una lubricación eficaz y de tapón de salida de gases que no solamente aseguran un funcionamiento fiable, sino que además dotan a nuestros motor-reductores de otras importantes ventajas: una larga vida útil y un bajo coste de mantenimiento. Tanto en aquellos casos en los que son necesarios pares e índices de reducción muy próximos entre sí, como cuando se precisa velocidad alta de salida, un motor-reductor de engranajes helicoidales coaxiales es lo más indicado. El completo programa de los motor-reductores de engranajes helicoidales coaxiales proporciona el tamaño y potencia óptimos para cada aplicación.

<b>Rango de Potencia</b>	Desde 0.12 Hasta 160 kW
<b>Velocidades</b>	Desde 0.06 Hasta 1340 rpm.
<b>Torques de Salida.</b>	Hasta 18000 Nm.

Tipo	Índice de Reducción	Torque Máximo	Número de Equipos
R07	3,21 - 78,24	50	30
R17	3,83 - 81,64	85	29
R27	3,37 - 135,09	130	34
R27R17	90 - 8612	130	61
R37	3,41 - 134,82	200	33

## Estructura general del reductor cilíndrico



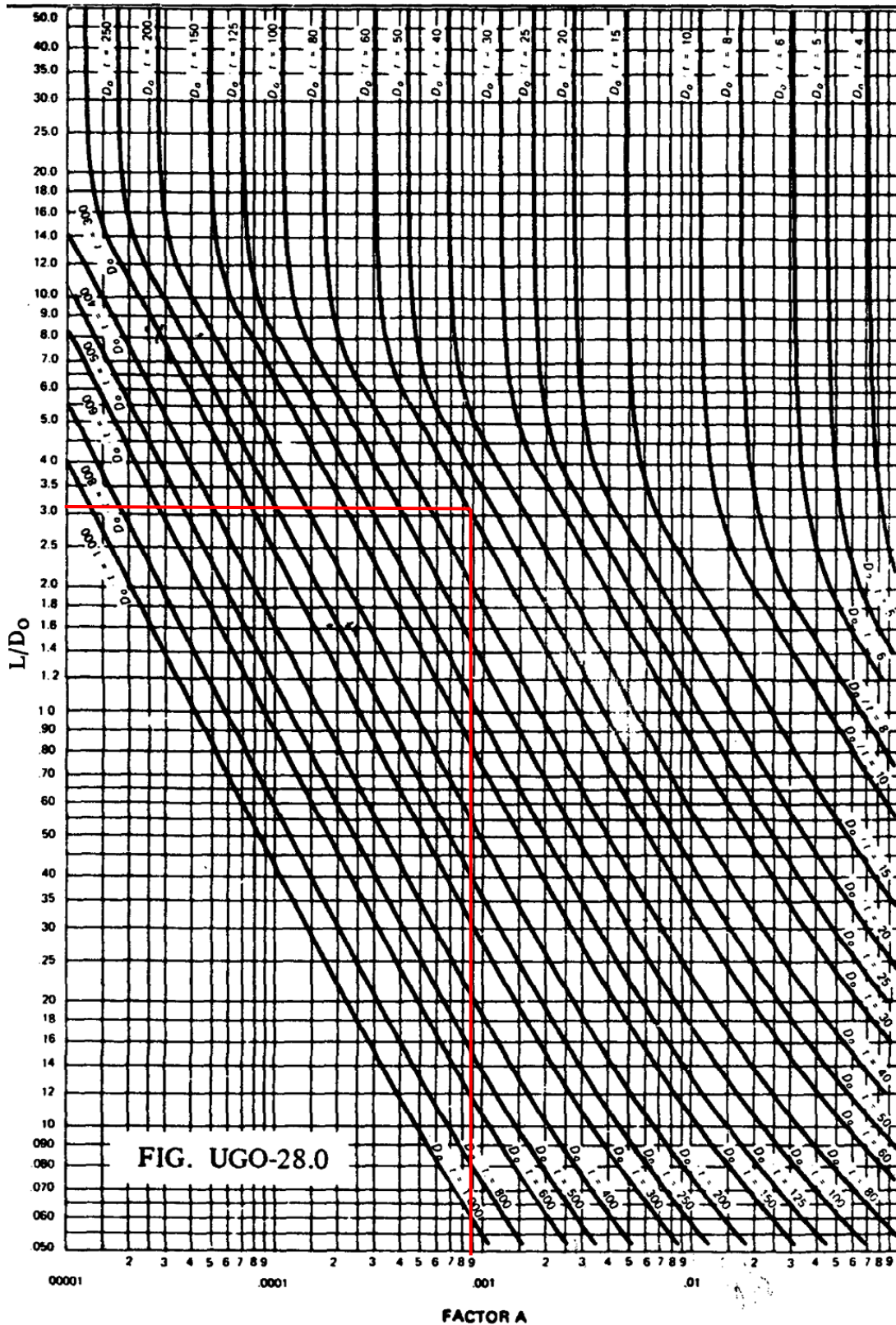
1919

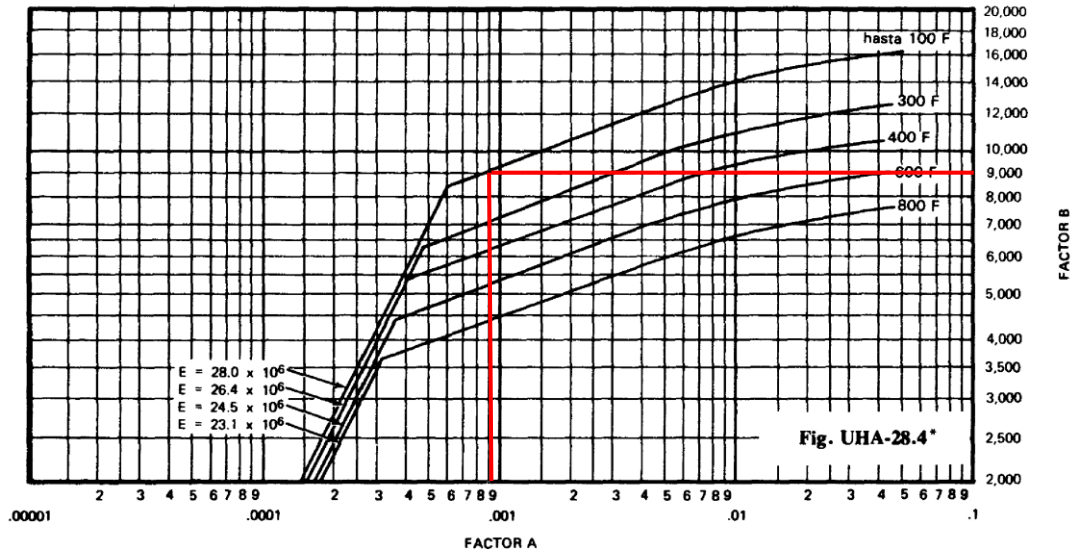
[1] Piñón	[19] Chaveta	[42] Rodamiento	[507] Arandela de ajuste
[2] Rueda	[20] Tapón de salida de gases	[43] Chaveta	[508] Arandela de ajuste
[3] Árbol piñón	[22] Carcasa	[45] Rodamiento	[515] Arandela de ajuste
[4] Rueda	[24] Cáncamo de sujeción	[47] Circlip	[516] Arandela de ajuste
[5] Árbol piñón	[25] Rodamiento	[59] Tapón roscado	[517] Arandela de ajuste
[6] Rueda	[30] Rodamiento	[88] Circlip	[521] Arandela de ajuste
[7] Eje de salida	[31] Chaveta	[100] Tapa del reductor	[522] Arandela de ajuste
[8] Chaveta	[32] Distanciador	[101] Tornillo hexagonal	[523] Arandela de ajuste
[9] Retén	[34] Rodamiento	[102] Junta	
[11] Rodamiento	[37] Rodamiento	[131] Capuchón	
[12] Circlip	[39] Circlip	[181] Capuchón	
[17] Distanciador	[41] Circlip	[506] Arandela de ajuste	

## Placa de características/designación del modelo

<b>Tipo</b>	R17DRS71M4	<b>Cos</b>	0.72
<b>No.</b>	68.0192124401.0001.11	<b>FS</b>	1.4
<b>IM</b>	4	<b>Ins. Cl</b>	F
<b>RPM</b>	86	<b>IP</b>	55
<b>Kw</b>	0.55	<b>A</b>	2.6/1.31
<b>Rel</b>	19.71	<b>V</b>	220/440
<b>Nm</b>	61	<b>Lubricante ISO VG</b>	220
<b>Hz</b>	60	<b>Kg</b>	11

ANEXO 5. Valores del Factor A Y Factor B -Presión externa.














NOTA: En los casos en que el valor de A caiga a la derecha del extremo de la línea de temperatura, supóngase una intersección con la prolongación horizontal del extremo superior de dicha línea

**VALORES DEL FACTOR B**  
**QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA**

\*Los valores de la gráfica son aplicables cuando se fabrique el recipiente con acero austenítico (18Cr-8Ni-Mo-0.03 máx. de carbono, tipo 316L y 317L) (tabla 4 de la página 160)

## Anexo 6. Selección y configuración del sello

**GASKET MATERIALS AND CONTACT FACINGS<sup>1</sup>**  
Gasket Factors  $m$  for Operating Conditions and Minimum Design Seating Stress  $y$

Gasket Material	Gasket Factor $m$	Min. Design Seating Stress $y$ , psi (MPa)	Sketches	Facing Sketch and Column in Table 2-5.2
Self-energizing types (O rings, metallic, elastomer, other gasket types considered as self-sealing)	0	0 (0)	...	...
Elastomers without fabric or high percent of mineral fiber: Below 75A Shore Durometer	0.50	0 (0)		(1a),(1b),(1c),(1d), (4),(5); Column II
75A or higher Shore Durometer	1.00	200 (1.4)		
Mineral fiber with suitable binder for operating conditions: $\frac{1}{8}$ in. (3.2 mm) thick	2.00	1,600 (11)		(1a),(1b),(1c),(1d), (4),(5); Column II
$\frac{1}{16}$ in. (1.6 mm) thick	2.75	3,700 (26)		
$\frac{1}{32}$ in. (0.8 mm) thick	3.50	6,500 (45)		
Elastomers with cotton fabric insertion	1.25	400 (2.8)		(1a),(1b),(1c),(1d), (4),(5); Column II
Elastomers with mineral fiber fabric insertion (with or without wire reinforcement):				
3-ply	2.25	2,200 (15)		(1a),(1b),(1c),(1d), (4),(5); Column II
2-ply	2.50	2,900 (20)		
1-ply	2.75	3,700 (26)		
Vegetable fiber	1.75	1,100 (7.6)		(1a),(1b),(1c),(1d), (4),(5); Column II
Spiral-wound metal, mineral fiber filled: Carbon	2.50	10,000 (69)		(1a),(1b); Column II
Stainless, Monel, and nickel-base alloys	3.00	10,000 (69)		
Corrugated metal, mineral fiber inserted, or corrugated metal, jacketed mineral fiber filled: Soft aluminum	2.50	2,900 (20)		(1a),(1b); Column II
Soft copper or brass	2.75	3,700 (26)		
Iron or soft steel	3.00	4,500 (31)		
Monel or 4%–6% chrome	3.25	5,500 (38)		
Stainless steels and nickel-base alloys	3.50	6,500 (45)		

**GASKET MATERIALS AND CONTACT FACINGS<sup>1</sup> (CONT'D)**  
**Gasket Factors  $m$  for Operating Conditions and Minimum Design Seating Stress  $y$**

Gasket Material	Gasket Factor $m$	Min. Design Seating Stress $y$ , psi (MPa)	Sketches	Facing Sketch and Column in Table 2-5.2
Corrugated metal:				
Soft aluminum	2.75	3,700 (26)		(1a),(1b),(1c),(1d); Column II
Soft copper or brass	3.00	4,500 (31)		
Iron or soft steel	3.25	5,500 (38)		
Monel or 4%–6% chrome	3.50	6,500 (45)		
Stainless steels and nickel-base alloys	3.75	7,600 (52)		
Flat metal, jacketed mineral fiber filled:				
Soft aluminum	3.25	5,500 (38)		(1a),(1b),(1c), <sup>2</sup> (1d) <sup>2</sup> ;(2) <sup>2</sup> ; Column II
Soft copper or brass	3.50	6,500 (45)		
Iron or soft steel	3.75	7,600 (52)		
Monel	3.50	8,000 (55)		
4%–6% chrome	3.75	9,000 (62)		
Stainless steels and nickel-base alloys	3.75	9,000 (62)		
Grooved metal:				
Soft aluminum	3.25	5,500 (38)		(1a),(1b),(1c),(1d), (2),(3); Column II
Soft copper or brass	3.50	6,500 (45)		
Iron or soft metal	3.75	7,600 (52)		
Monel or 4%–6% chrome	3.75	9,000 (62)		
Stainless steels and nickel-base alloys	4.25	10,100 (70)		
Solid flat metal:				
Soft aluminum	4.00	8,800 (61)		(1a),(1b),(1c),(1d), (2),(3),(4),(5); Column I
Soft copper or brass	4.75	13,000 (90)		
Iron or soft steel	5.50	18,000 (124)		
Monel or 4%–6% chrome	6.00	21,800 (150)		
Stainless steels and nickel-base alloys	6.50	26,000 (180)		
Ring joint:				
Iron or soft steel	5.50	18,000 (124)		(6); Column I
Monel or 4%–6% chrome	6.00	21,800 (150)		
Stainless steels and nickel-base alloys	6.50	26,000 (180)		

**NOTES:**

- (1) This Table gives a list of many commonly used gasket materials and contact facings with suggested design values of  $m$  and  $y$  that have generally proved satisfactory in actual service when using effective gasket seating width  $b$  given in Table 2-5.2. The design values and other details given in this Table are suggested only and are not mandatory.
- (2) The surface of a gasket having a lap should not be against the nubbin.

EFFECTIVE GASKET WIDTH

Facing Sketch (Exaggerated)		Basic Gasket Seating Width $b_o$	
		Column I	Column II
(1a)		$\frac{N}{2}$	$\frac{N}{2}$
(1b)			
(1c)		$\frac{w+T}{2}; \left(\frac{w+N}{4} \text{ max}\right)$	$\frac{w+T}{2}; \left(\frac{w+N}{4} \text{ max}\right)$
(1d)			
(2)		$\frac{w+N}{4}$	$\frac{w+3N}{8}$
(3)		$\frac{N}{4}$	$\frac{3N}{8}$
(4)		$\frac{3N}{8}$	$\frac{7N}{16}$
(5)		$\frac{N}{4}$	$\frac{3N}{8}$
(6)		$\frac{w}{8}$	...

---

EFFECTIVE GASKET WIDTH (CONT'D)

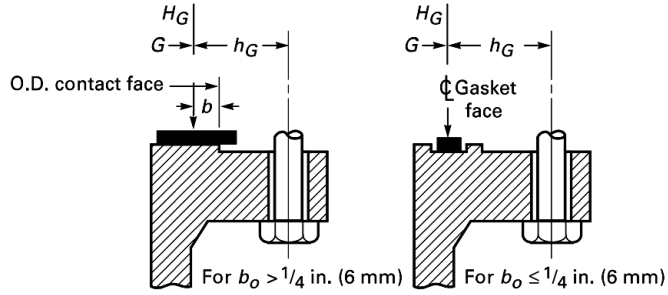
---

Effective Gasket Seating Width,  $b$

$$b = b_o, \text{ when } b_o \leq \frac{1}{4} \text{ in. (6 mm); } b = C_o \sqrt{b_o}, \text{ when } b_o > \frac{1}{4} \text{ in. (6 mm)}$$

---

Location of Gasket Load Reaction



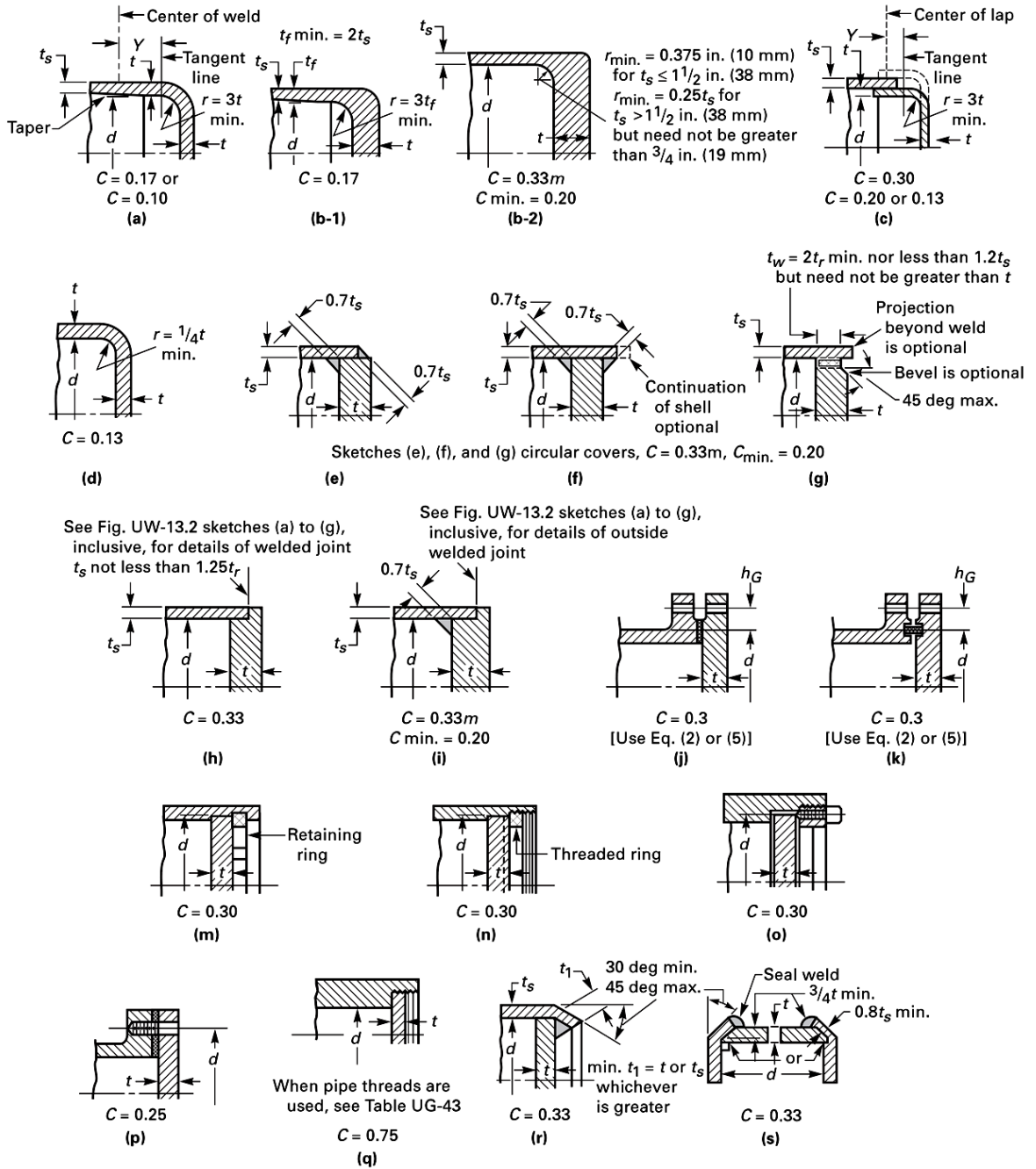
---

GENERAL NOTE: The gasket factors listed only apply to flanged joints in which the gasket is contained entirely within the inner edges of the bolt holes.

NOTE:

(1) Where serrations do not exceed  $\frac{1}{64}$  in. (0.4 mm) depth and  $\frac{1}{32}$  in. (0.8 mm) width spacing, sketches (1b) and (1d) shall be used.

FIG. UG-34 SOME ACCEPTABLE TYPES OF UNSTAYED FLAT HEADS AND COVERS

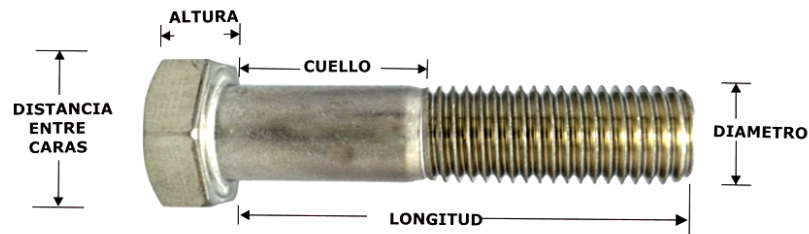


GENERAL NOTE: The above illustrations are diagrammatic only. Other designs that meet the requirements of UG-34 are acceptable.

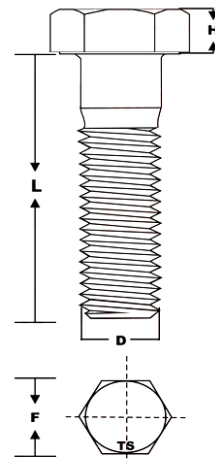
## Anexo 7. Propiedades de los tornillos y tuercas seleccionadas

### TORNILLOS HEXAGONALES UNC ACERO INOXIDABLE A-304

ORIGEN	NOMBRE	TUERCA ASIGNADA	NORMA	TIPO DE ROSCA
NACIONAL O IMPORTADO	TORNILLO UNC INOXIDABLE	UNC INOXIDABLE	ANSI B 18.2.1 ANSI B 1.1	UNC (ROSCA ORDINARIA)
CALIDAD O GRADO	USOS	EMPAQUE	ACABADO	MATERIAL
GRADO A-304	GENERAL	GRANEL	INOXIDABLE	ACERO INOXIDABLE AISI 304



D	HILOS X PULGADA UNC		F	H
DIAMETRO			DISTANCIA ENTRE CARAS	ALTURA DE LA CABEZA
3/16"	.187	24	3/8"	1/8"
1/4"	.250	20	7/16"	5/32"
5/16"	.312	18	1/2"	13/64"
3/8"	.375	16	9/16"	15/64"
7/16"	.437	14	5/8"	9/32"
1/2"	.500	13	3/4"	5/16"
9/16"	.562	12	13/16"	23/64"
5/8"	.625	11	15/16"	25/64"
3/4"	.750	10	1-1/8"	15/32"
7/8"	.875	9	1-5/16"	35/64"
1"	1.000	8	1-1/2"	39/64"
1-1/8"	1.125	7	1-11/16"	11/16"
1-1/4"	1.250	7	1-7/8"	25/32"
1-1/2"	1.500	6	2-1/4"	1-5/16"



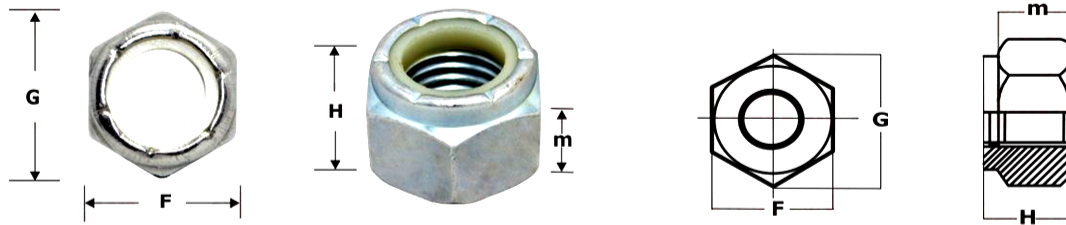
**Usos:** son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego, éste acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfríe rápidamente.

#### ACERO AL CROMO NÍQUEL

RESISTENCIA A LA FLUENCIA	RESISTENCIA MAXIMA	ELONGACION	REDUCCIÓN DE AREA	MODULO DE ELASTICIDA	PROPIEDAD FISICA
310 MPa (45KSI)	620 Mpa (90KSI)	30% (en 50mm)	40%	200 Gpa (29000 KSI)	7.8 g/cm <sup>3</sup> (0.28 lb/in <sup>3</sup> )

## TUERCAS DE SEGURIDAD DE NYLON UNC ACERO INOXIDABLE A-304

ORIGEN	NOMBRE	TUERCA ASIGNADA	NORMA	TIPO DE ROSCA
NACIONAL O IMPORTADO	TUERCA DE SEGURIDAD UNC INOXIDABLE	NO APLICA	ASME B1.1-2B	UNC
CALIDAD O GRADO	USOS	EMPAQUE	ACABADO	MATERIAL
INOXIDABLE A-304	MULTIPLES	GRANEL	INOXIDABLE	ACERO INOXIDABLE AISI A-304



DIÁMETRO	PASO	F	G	H	m
		DISTANCIA ENTRE CARAS	DISTANCIA ENTRE ESQUINAS	ALTURA	ALTURA CUELLO
8-32"	32	21/64"	25/64"	7/32"	5/32"
10-24"	24	23/64"	13/32"	15/64"	5/32"
1/4"	20	7/16"	1/2"	21/64"	15/64"
5/16"	18	1/2"	37/64"	23/64"	1/4"
3/8"	16	9/16"	21/32"	15/32"	21/64"
7/16"	14	11/16"	21/32"	15/32"	1/32"
1/2"	13	3/4"	55/64"	39/64"	3/64"
9/16"	12	7/8"	63/64"	5/8"	3/64"
5/8"	18	15/16"	1"	3/4"	19/32"
3/4"	16	1-1/8"	1-3/16"	57/64"	3/4"
7/8"	14	1-5/16"	1-13/32"	1"	51/64"
1"	14	1-1/2"	1-39/64"	1-5/64"	53/64"
1-1/8"	12	1-11/16"	1-53/64"	1-13/64"	15/16"
1-1/4"	12	1-7/8"	2-1/32"	1-27/64"	1-1/8"
1-1/2"	12	2-1/4"	2-7/16"	1-41/64"	1-11/32"

La **tuerca de Seguridad**, también conocida como tuerca de bloqueo o tuerca de par de torsión prevalecte, es una tuerca que se utilizan en uniones donde se requiere de seguridad y fiabilidad o sea en uniones roscadas sujetas a oscilaciones de interferencia o envejecimiento con vibraciones naturales.

### ACERO AL CROMO NÍQUEL

RESISTENCIA A LA FLUENCIA	RESISTENCIA MAXIMA	ELONGACION	REDUCCIÓN DE AREA	MODULO DE ELASTICIDA	PROPIEDAD FISICA
310 MPa (45KSI)	620 Mpa (90KSI)	30% (en 50mm)	40%	200 Gpa (29000 KSI)	7.8 g/cm <sup>3</sup> (0.28 lb/in <sup>3</sup> )

## Anexo 8. Electrodo soldadura Aceros inoxidables

Acero 316L

AWS: ER 316L

**Descripción:** Diseñado para procesos de soldadura con gas inerte (MIG y TIG). Análisis químico cuidadosamente equilibrado, uniforme en el metal depositado y propiedades mecánicas bien balanceadas. Arco estable de transferencia spray con gases Indurming inox. o argón.

**Usos:** Para aceros tipo 316L, 316, 318 y aleaciones similares con contenido extra bajo de carbono. El contenido de 0.04% de carbono máximo en el metal depositado, evita la formación y precipitación de carburos. Excelente protección contra la corrosión intergranular. Para aplicaciones resistentes a la corrosión cuando hay posibilidades de “picadura” (ataque por ácido). No es necesario tratamiento térmico posterior.

**Aplicaciones típicas:** Aceros 316, 316L y 318. Equipos químicos y petroquímicos. Industria alimenticia, de papel, turbinas y bombas, etc. Intercambiadores de calor.

**Posiciones de soldadura:** P, H, V, SC.

**Tipo de corriente:** CCEP.

**Composición química:**

C: 0.02%	Mn: 1.69%
Si: 0.38%	P: 0.030%
S: 0.008%	Cr: 18.1%
Ni: 11.1%	Mo: 2.1%

**Propiedades mecánicas:**

Resistencia a la tracción 570 Mpa  
Elongación (L=4d) 40%  
Energía absorbida 90J a 0° C

## Acero 304

AWS: E 308LT1-1/E 308LT1-4

**Descripción:** Alambre tubular con protección gaseosa externa. Gas de protección indurming 20 ó 100% CO<sub>2</sub>. Excelente soldabilidad y mejorada resistencia al creep a alta temperatura. El metal depositado contiene óptimo contenido de Ferrita en su estructura austenítica, así su soldabilidad es excelente con baja susceptibilidad al agrietamiento.

**Usos:** Diseñado para soldadura MIG de aceros inoxidable tipo 18% Cr – 8%Ni de bajo contenido de carbono.

**Aplicaciones típicas:** Aceros inoxidables AISI 304, 304L, 304LN, ASTM A 157 Gr. C9, A320 Gr. B8C o D.

**Posiciones de soldadura:** P, H, V, SC.

**Tipo de corriente:** CCEP.


**Composición química:**

C: 0.03%	Mn: 1.90%
Si: 0.79%	Cr: 19.8%
Ni: 10.2%	Fe: balance

**Propiedades mecánicas:**

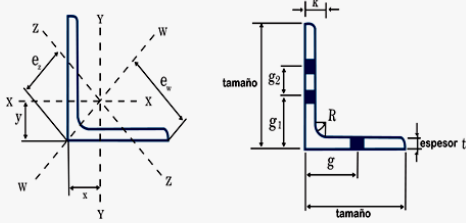
Resistencia a la tracción 610 Mpa  
Elongación (L=4d) 35%

## Anexo 9. Dimensiones perfil estructural L



**APS**  
ANGULO DE LADOS IGUALES  
MILÉSIMAS DE PULGADA

Acero ASTM A-36	$f_y=2530 \text{ Kg/cm}^2$
Acero ASTM A-529-50	$f_y=3515 \text{ Kg/cm}^2$
Acero ASTM A-572-50	$f_y=3515 \text{ Kg/cm}^2$
Acero ASTM A-572-60	$f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$

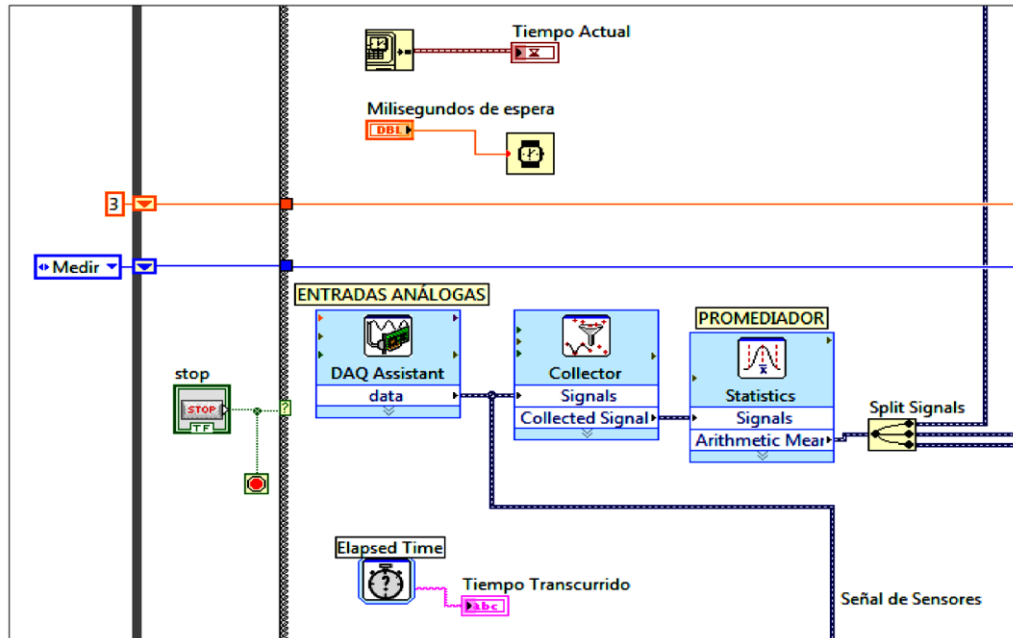


**PROPIEDADES**                      **DIMENSIONES**

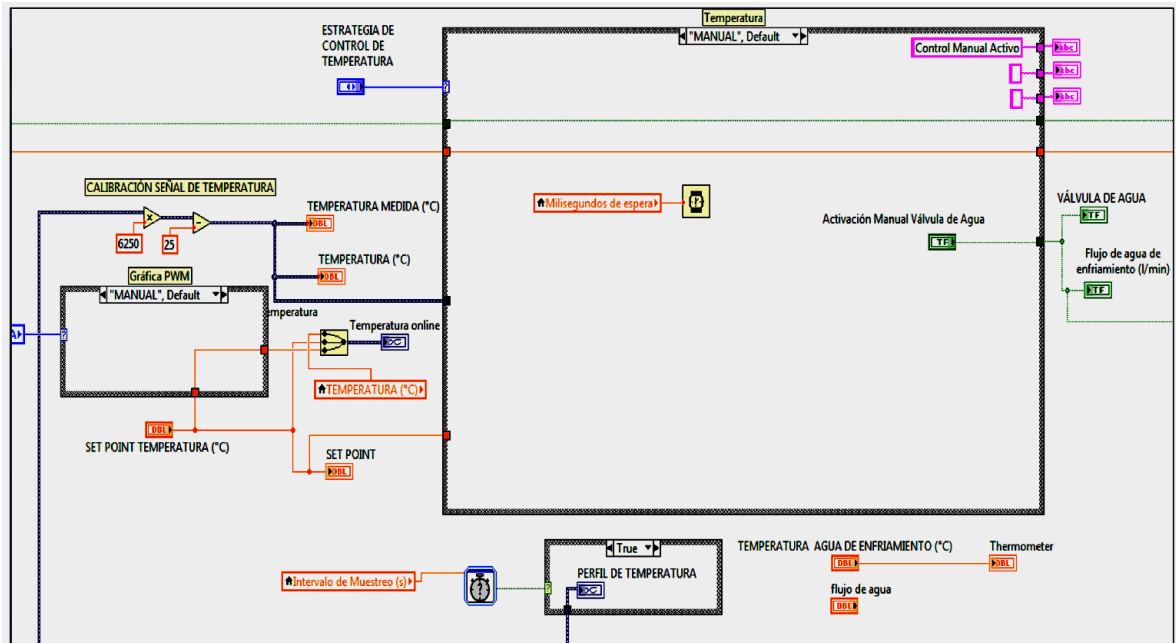
Designación tamaño x espesor t	Peso	k	R	Gramil			Sujetadores			Área	Ejes X-X y Y-Y				Eje W-W				Eje Z-Z				
				g	g1	g2	Diámetro máximo	Espac. recom.	l		S	r	x=y	l	S	r	e <sub>w</sub>	l	S	r	e <sub>z</sub>		
																						cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>
PERFIL	in. x in	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	in.	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
L	1 x 0.109	1.04	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	1.33	0.81	0.45	0.78	0.74	1.28	0.71	0.98	1.80	0.33	0.32	0.50	1.04
L	1 x 0.118	1.12	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	1.42	0.86	0.48	0.78	0.74	1.36	0.76	0.98	1.80	0.35	0.33	0.50	1.05
L	1 x 0.123	1.17	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	1.49	0.89	0.50	0.77	0.75	1.42	0.79	0.98	1.80	0.37	0.35	0.50	1.06
L	1 x 0.125	1.19	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	1.52	0.92	0.51	0.79	0.76	1.24	0.69	0.93	1.79	0.41	0.38	0.48	1.07
L	1 x 0.130	1.23	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	1.57	0.93	0.52	0.77	0.76	1.48	0.82	0.97	1.80	0.39	0.36	0.50	1.07
L	1 x 0.138	1.30	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	1.66	0.98	0.55	0.77	0.76	1.55	0.86	0.97	1.80	0.41	0.38	0.50	1.08
L	1 x 0.143	1.34	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	1.71	1.01	0.57	0.77	0.77	1.60	0.89	0.97	1.80	0.42	0.39	0.50	1.09
L	1 x 0.163	1.52	11.1	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	1.93	1.12	0.64	0.76	0.79	1.77	0.98	0.96	1.80	0.47	0.43	0.49	1.11
L	1 x 0.176	1.63	12.7	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	2.07	1.19	0.68	0.76	0.80	1.87	1.04	0.95	1.80	0.51	0.45	0.49	1.13
L	1 x 0.187	1.72	12.7	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	2.19	1.24	0.72	0.75	0.81	1.95	1.09	0.94	1.80	0.53	0.47	0.49	1.14
L	1 x 0.250	2.22	14.3	3.2	14	-	-	9.5	3/8	30	2.80	1.54	0.92	0.74	0.86	2.49	1.39	0.91	1.79	0.83	0.69	0.48	1.21
L	1 1/4 x 0.109	1.32	11.1	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	1.68	1.62	0.71	0.98	0.90	2.59	1.15	1.24	2.25	0.66	0.52	0.63	1.27
L	1 1/4 x 0.118	1.42	11.1	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	1.81	1.74	0.77	0.98	0.90	2.77	1.23	1.24	2.25	0.71	0.55	0.63	1.28
L	1 1/4 x 0.123	1.48	11.1	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	1.89	1.80	0.80	0.98	0.91	2.87	1.28	1.23	2.25	0.74	0.57	0.62	1.29
L	1 1/4 x 0.125	1.50	11.1	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	1.93	1.83	0.8	0.97	0.89	2.91	1.3	1.19	2.24	0.83	0.66	0.62	1.25
L	1 1/4 x 0.130	1.56	11.1	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	1.99	1.89	0.84	0.98	0.92	3.01	1.34	1.23	2.25	0.77	0.60	0.62	1.29
L	1 1/4 x 0.138	1.65	11.1	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	2.10	1.99	0.88	0.97	0.92	3.16	1.41	1.23	2.25	0.82	0.62	0.62	1.30
L	1 1/4 x 0.143	1.71	11.1	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	2.17	2.05	0.91	0.97	0.93	3.26	1.45	1.22	2.25	0.84	0.64	0.62	1.31
L	1 1/4 x 0.163	1.93	11.1	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	2.46	2.29	1.03	0.96	0.95	3.63	1.61	1.21	2.25	0.95	0.71	0.62	1.34
L	1 1/4 x 0.176	2.07	12.7	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	2.64	2.43	1.10	0.96	0.96	3.85	1.72	1.21	2.25	1.01	0.75	0.62	1.35
L	1 1/4 x 0.187	2.19	12.7	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	2.79	2.54	1.16	0.97	0.97	3.74	1.67	1.19	2.24	0.83	0.61	0.62	1.37
L	1 1/4 x 0.250	2.85	14.3	4.7	18	-	-	12.7	1/2	40	3.72	3.21	1.49	0.94	1.02	4.99	2.23	1.16	2.24	1.24	0.86	0.62	1.44
L	1 1/2 x 0.109	1.60	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	1.68	1.62	0.71	0.98	0.90	2.59	1.15	1.24	2.25	0.66	0.52	0.63	1.27
L	1 1/2 x 0.113	1.65	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.10	2.96	1.08	1.19	1.06	4.72	1.75	1.50	2.69	1.20	0.80	0.75	1.50
L	1 1/2 x 0.118	1.72	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.19	3.08	1.12	1.18	1.06	4.91	1.82	1.50	2.69	1.25	0.83	0.75	1.50
L	1 1/2 x 0.123	1.79	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.28	3.19	1.16	1.18	1.07	5.09	1.89	1.49	2.69	1.29	0.86	0.75	1.51
L	1 1/2 x 0.125	1.82	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.34	3.25	1.18	1.17	1.07	5.41	2.01	1.47	2.69	1.24	0.82	0.73	1.51
L	1 1/2 x 0.130	1.89	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.41	3.35	1.22	1.18	1.07	5.34	1.98	1.49	2.69	1.36	0.89	0.75	1.52
L	1 1/2 x 0.137	1.99	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.53	3.51	1.29	1.18	1.08	5.59	2.07	1.49	2.69	1.43	0.93	0.75	1.53
L	1 1/2 x 0.140	2.03	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.58	3.57	1.31	1.18	1.08	5.69	2.11	1.48	2.69	1.45	0.95	0.75	1.53
L	1 1/2 x 0.143	2.07	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.64	3.64	1.34	1.18	1.09	5.80	2.15	1.48	2.69	1.48	0.96	0.75	1.54
L	1 1/2 x 0.145	2.10	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.67	3.68	1.35	1.17	1.09	5.87	2.18	1.48	2.69	1.50	0.98	0.75	1.54
L	1 1/2 x 0.156	2.25	11.1	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	2.86	3.92	1.45	1.17	1.10	6.24	2.32	1.48	2.69	1.60	1.03	0.75	1.55
L	1 1/2 x 0.170	2.44	12.7	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	3.10	4.22	1.56	1.17	1.11	6.71	2.49	1.47	2.69	1.73	1.10	0.75	1.57
L	1 1/2 x 0.188	2.68	12.7	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	3.43	4.58	1.64	1.17	1.12	7.07	2.63	1.44	2.69	1.66	1.05	0.73	1.58
L	1 1/2 x 0.250	3.48	14.3	4.7	20	-	-	12.7	1/2	40	4.40	5.83	2.20	1.14	1.19	8.74	3.24	1.42	2.69	2.49	1.48	0.73	1.68

## Anexo 10. Diagrama de bloques LabView

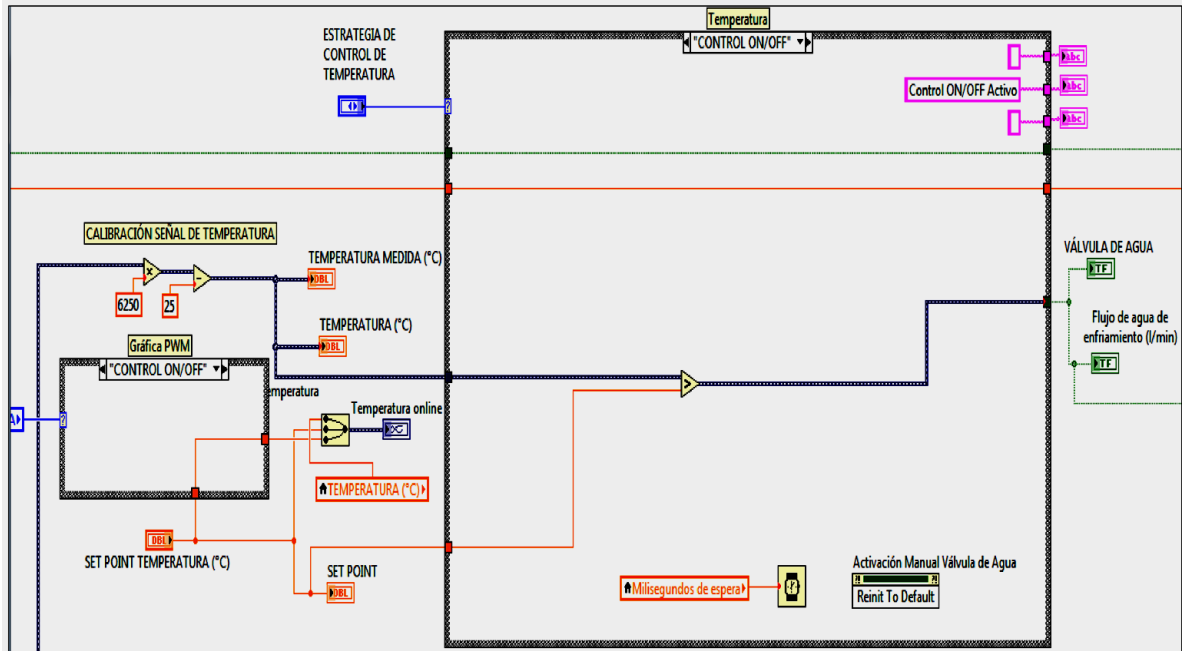
### 10.1 Adquisición de datos



### 10.2 Case para control MANUAL de Temperatura



### 10.3 Case para CONTROL ON/OFF de Temperatura



### 10.4 Case para CONTROL PID de Temperatura

