

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

" Diseño y Adecuación de una Unidad de Biodigestión"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Alex Cabrera Salame

Galo Andrés Durazno Palacios

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por guiarme a lo largo del camino, a mis padres y hermanos que con su amor, ayuda y motivación hicieron posible enfocarme a alcanzar mis objetivos, a mi compañero, tutores de la materia integradora, y todas las personas estuvieron dispuestos a compartir sus conocimientos para completar y desarrollar este proyecto.

Alex Cabrera Salame

Agradezco primero a Dios por darme vida y salud, a mis padres, amigos, compañeros y familiares por su apoyo durante el transcurso de mi carrea.

A cada uno de los profesores de la ESPOL que han contribuido en mi formación académica y profesional y en especial a mis directores de tesis que han colaborado con el proceso de elaboración de este proyecto.

Galo Andrés Durazno Palacios

## DECLARACIÓN EXPRESA

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

Alex Cabrera Salame

Galo Andrés Durazno Palacios

Emérita Alexandra Delgado Plaza

Juan Peralta Jaramillo

Cesar Miguel Moreira Valenzuela

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



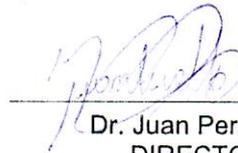
Alex Cabrera S.  
AUTOR



Galo Durazno P.  
AUTOR



Dra. Emérita Delgado P.  
DIRECTORA



Dr. Juan Peralta J.  
DIRECTOR

## RESUMEN

La biomasa es considerada como una de las primeras fuentes de energía y de bajo impacto ambiental, la cual puede ser aprovechada en cualquier sector ya sea energético o agrícola. Bajo esta premisa el CDTTS ha planteado el desarrollo de este proyecto donde se detalla el proceso de construcción y selección de componentes de un biorreactor para producción de biogás, con fines experimentales en laboratorio. Para ello se utiliza un antiguo autoclave propiedad del CDTTS el cual debe ser rediseñado para funcionar como un biorreactor tipo batch de tanque agitado anaeróbico operando bajo condiciones de régimen termofílico.

Para alcanzar el régimen térmico de operación fue necesario la adecuación de un sistema de calentador en forma de serpentín y la construcción e implementación de un conjunto agitador que permita homogenizar la mezcla de agua y biomasa en cada operación.

Los cálculos de la transferencia de calor han sido validados mediante la simulación computacional, asegurando que la operación del equipo se realice bajo los parámetros requeridos.

Como complemento de los cambios estructurales realizados al autoclave original, se seleccionaron accesorios como: neplos, codos y acoplamientos adecuados; además de válvulas e instrumentación para el control de la temperatura y presión internas.

Luego del proceso de fabricación se realizaron diferentes ensayos no destructivos al equipo con la finalidad de verificar su hermeticidad en sus componentes.

Se presenta además un análisis de los costos, especificando costos de: materiales, mano de obra y prueba hidrostática; y una comparativa de precios con respecto a la fabricación de una unidad de biodigestión completamente nueva.

**Palabras Clave:** Energía, diseño, biomasa, biorreactor, biodigestión, anaeróbico, termofílico, tanque agitado.

## **ABSTRACT**

*Biomass is considered one of the primary sources of energy and of low environmental impact, which can be exploited in any sector, either energy or agriculture. Under this premise, the CDTS (Technological Center for Sustainable Development) has raised the development of this project where the construction process and selection of components of a pilot bioreactor for biogas production for laboratory experimental purposes is outlined. For this, a former autoclave from CDTS' property is used, which must be redesigned to function as an anaerobic bioreactor, batch stirred tank type, operating under thermophilic conditions scheme.*

*To reach thermal operating regime, adapting a system shaped heater coil and the construction and implementation of an agitator assembly that enables homogenizing the mixture of water and biomass in each operation was necessary.*

*Calculations of heat transfer have been validated by computer simulation, ensuring that equipment operation is carried out under the required parameters.*

*Complementing the structural changes made to the original autoclave, attach accessories as elbows and couplings; including valves and instrumentation for monitoring temperature and internal pressure were selected.*

*After the manufacturing process, different nondestructive testing to the equipment were performed in order to verify its tightness components.*

*An analysis of the costs, specifying costs of materials, labor and hydrostatic test is also presented; as well as a price comparison regarding manufacturing a completely new biodigestion unit.*

**Keywords:** *Energy, design, biomass, bioreactor, digester, anaerobic, thermophilic, stirred tank.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV

## CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Marco Teórico.....	2
1.3.1 Biodigestión.....	2
1.3.2 Biorreactor.....	4
1.3.3 Gasómetro.....	6

## CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	7
2.1 Consideraciones generales de diseño.....	7
2.1.1 Bioproceso.....	8
2.1.2 Modo de operación.....	9
2.1.3 Geometría.....	11
2.1.4 Régimen Térmico.....	12
2.2 Alternativas de diseño.....	13
2.2.1 Selección de alternativas.....	14
2.2.2 Consideraciones específicas.....	15
2.3 Esquema de la metodología de diseño.....	17
2.4 Diseño de intercambiador de calor.....	18

2.5	Diseño del agitador.....	23
2.5.1	Velocidad Crítica .....	24
2.5.2	Diámetro del eje .....	26
2.5.3	Espesor de las aspas .....	26
2.6	Accesorios y Aislante térmico .....	28
<b>CAPÍTULO 3</b>		
3.	RESULTADOS.....	30
3.1	Resultados del diseño .....	30
3.1.1	Resultados de cálculos del serpentín .....	30
3.1.2	Resultados de cálculos del agitador .....	31
3.1.3	Selección de accesorios.....	33
3.1.4	Modificaciones y adaptaciones del autoclave .....	37
3.2	Resultados de la simulación .....	38
3.3	Resultados de pruebas.....	42
3.4	Análisis de costos .....	43
3.4.1	Costos directos .....	43
3.4.2	Costos indirectos.....	45
3.4.3	Costo total .....	46
3.4.4	Costo de fabricación de tanque nuevo .....	46
<b>CAPÍTULO 4</b>		
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
4.1	Conclusiones.....	47
4.2	Recomendaciones.....	48
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		

## ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineering
ASTM	American Standard for Testing Materials
CDTS	Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
<i>Hp</i>	Caballos de potencia
$\frac{J}{kgK}$	Joules sobre kilogramos kelvin
<i>kg</i>	Kilogramos
$\frac{Kg}{m^3}$	Kilogramo sobre metro cubico
$\frac{kg}{s}$	Kilogramos sobre segundos
$\frac{m}{s^2}$	Metros sobre segundos cuadrados
<i>mm</i>	Milímetros
<i>m<sup>2</sup></i>	Metros cuadrados
<i>m<sup>3</sup></i>	Metros cúbicos
$\frac{N}{m}$	Newton sobre metro
<i>Nm</i>	Newton metro
$\frac{Ns}{m^2}$	Newton segundo sobre metro cuadrado
PE	Polietileno
<i>PSI</i>	Libras sobre pulgadas cuadradas
$\frac{rad}{s}$	Radianes sobre segundos
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
s	Segundos
UL	Underwriters Laboratories
w	Watts

$$\frac{W}{mk}$$

Watts sobre metros kelvin

$$\frac{W}{m^2K}$$

Watts sobre metros cuadrado kelvin

$$\frac{1}{K}$$

Uno sobre kelvin

## SIMBOLOGÍA

$\alpha$	Coeficiente de acomodación térmica
$\Delta\rho$	Diferencia de densidades
$\Delta T$	Variación de temperatura
$\Delta T_a$	Diferencia de temperatura caliente
$\Delta T_b$	Diferencia de temperatura fría
$A_{Tr1}$	Área de transferencia del recipiente
B	Relación de masas
$\beta$	Coeficiente de expansión térmica
$b$	Ancho de aspa
$C_D$	Coeficiente de arrastre
$C_p$	Calor específico
$\bar{C}_t$	Aproximación universal en función al Número de Prandtl para flujo turbulento dada por Churchill y Usagi
D	Diámetro del recipiente
$Da$	Diámetro del agitador
$De$	Diámetro del eje
$D_i$	Diámetro interno de la tubería
$D_o$	Diámetro externo de tubería
$D_p$	Diámetro promedio de partícula
$dr$	Diferencial de radio
$e$	Espesor de aspa
$e$	Espesor de tubería
$e_{acero}$	Espesor del acero
$e_{poliuretano}$	Espesor del poliuretano
F	Factor de corrección
$F_D$	Fuerza de arrastre
G	Relación de integrales valor constante depende del cuerpo geométrico o de las frontera (limite térmico)
$g$	Gravedad
$h$	Altura de aspa

$h$	Coeficiente convectivo.
H	Altura del recipiente
$h_{agua}$	Coeficiente de convección del agua
$h_{aire}$	Coeficiente de convección del aire
$k$	Coeficiente de conducción.
$k_{acero}$	Coeficiente de conducción del acero
$k_{poliuretano}$	Coeficiente de conducción del poliuretano
L	Altura del cilindro
$L$	Longitud de tubería
m	Parámetro experimental según forma geométrica
m	Masa
$\dot{m}$	Flujo másico
MLDT	Media logarítmica de la diferencia de temperatura total
$M_o$	Momento con respecto a O
n	Parámetro experimental según forma geométrica
$\eta$	Factor de seguridad
$n$	Velocidad angular
$n_c$	Velocidad crítica
$Nu$	Número de Nusselt.
$Nu_{cond}$	Nusselt de conducción constante según forma geométrica del Número de Nusselt
$Nu_\ell$	Número de Nusselt para flujo interno laminar desarrollado
$Nu_t$	Número de Nusselt para flujo interno turbulento
$Nu^T$	Número de Nusselt para capa laminar fina
$N_p$	Factor de poder
P	Potencia
$\rho$	Densidad del agua
PD	Potencia de diseño
Pr	Número de Prandtl
$Q$	Calor
$r$	Radio con respecto a O

$Ra$	Número de Rayleigh
$s$	Factor de forma
$S_y$	Límite de fluencia
$T$	Torque
$t$	Tiempo
$T_f$	Temperatura de película
$T_i$	Temperatura de entrada de coraza
$t_i$	Temperatura de entrada del tubo
$T_o$	Temperatura de salida de coraza
$t_o$	Temperatura de salida de tubo
$T_\infty$	Temperatura de medio circundante
$T_s$	Temperatura de superficie
$\mu$	Viscosidad cinemática
$U$	Coefficiente global de transferencia de calor
$V$	Volumen total de Recipiente
$V$	Velocidad lineal de aspa
$\nu$	Viscosidad dinámica
$\omega$	Velocidad angular

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Parámetros de diseño de un biorreactor. ....	8
Figura 2.2. Esquema de la metodología del diseño. ....	18
Figura 2.3. Esquema de resistencias térmicas de la parte aislada.....	20
Figura 2.4. Área aislada del tanque. ....	20
Figura 2.5. Esquema de resistencias térmicas de la parte sin aislante. ....	21
Figura 2.6. Área sin aislante del tanque.....	21
Figura 2.7. Esquema de resistencias térmicas desde el serpentín hacia el cultivo.	22
Figura 2.8. Tipos de turbina para agitador. ....	24
Figura 2.9. Medidas del agitador. ....	24
Figura 2.10. Aspa de la turbina de disco de aspas planas. ....	27
Figura 2.11. Coeficiente de arrastre para aspas rectangulares..... (Eje Y: $C_p$ ; Eje X: Cociente de ancho entre la altura $b/h$ ).....	27
Figura 3.1. Valores de constantes $k_l$ y $k_t$ para diferentes tipos de impulsor. ....	32
Figura 3.2. Neplo. ....	34
Figura 3.3. Sello mecánico .....	37
Figura 3.4. Dibujo representativo del sistema para la simulación.....	39
Figura 3.5. Distribución de temperatura en el biorreactor luego de 24 horas. ....	40
Figura 3.6. Distribución de temperatura dentro del serpentín luego de 24 horas. ..	41
Figura 3.7. Gráfico de temperatura vs tiempo en el interior del tanque. ....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ventajas y desventajas de sistema batch. ....	9
Tabla 2. Ventajas y desventajas de sistema semi-continuo. ....	10
Tabla 3. Ventajas y desventajas de sistema continuo.....	11
Tabla 4. Ventajas y desventajas de los regímenes de temperatura. ....	13
Tabla 5. Matriz de decisión de consideraciones generales de diseño.....	14
Tabla 6. Matriz de decisión del sistema de agitación. ....	16
Tabla 7. Matriz de decisión del sistema térmico. ....	17
Tabla 8. Tabla de datos de manguera de PE de alta densidad.....	34
Tabla 9. Tabla de datos de neplo. ....	34
Tabla 10. Tabla de datos de válvula de bola. ....	35
Tabla 11. Tabla de datos de válvula de compuerta. ....	35
Tabla 12. Tabla de datos del manómetro. ....	36
Tabla 13. Tabla de datos del termómetro. ....	36
Tabla 14. Tabla de datos del sello mecánico.....	37
Tabla 15. Costos directos del proyecto.....	44
Tabla 16. Costos indirectos del proyecto.....	45
Tabla 17. Costo total del proyecto .....	46

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Vistas del biorreactor
- PLANO 2 Detalle del tanque
- PLANO 3 Codo de serpentín
- PLANO 4 Detalle del agitador
- PLANO 3 Detalle de prensa estopa

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Definición del Problema

La biomasa es considerada como una de las primeras fuentes de energía y de bajo impacto ambiental local, la cual puede ser aprovechada en cualquier sector ya sea energético o agrícola.

En la actualidad se implementa el aprovechamiento de la basura orgánica, desechos urbanos, residuos de leña o de poda, excretas de animales, entre otras formas de biomasa que sirven para la generación de calor y electricidad, bajo el contexto de energía limpia

De igual manera, el amplio grado de disponibilidad y aprovechamiento de la biomasa como fuente energética en comparación con otras fuentes de energía renovables en ciertas zonas geográficas puede ser considerado como una opción económicamente viable y sostenible para contrarrestar la denominada “pobreza energética”, derivada a la falta de vectores energéticos como los son electricidad, gas combustible, entre otros permiten considerar a la biomasa

A partir de la premisa anterior, el Centro de Desarrollo tecnológico sustentable plantea el proyecto de la construcción de una unidad de biodigestión y el diseño de los equipos complementarios para la obtención de biogás, el cual se será almacenado y posteriormente empleado en aplicaciones térmicas.

Adicionalmente, se plantea realizar una reingeniería de una autoclave fuera de servicio que se encuentra estructuralmente en buen estado en las instalaciones del CDTs con el fin de aprovechar este equipo para el cuerpo del biodigestor.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar una unidad para la producción de biogás para el CDTS.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar un biorreactor a partir de la utilización de una antigua autoclave instalada en el CDTS.
- Dimensionar y seleccionar los materiales óptimos necesarios en el diseño del biodigestor.
- Realizar pruebas hidrostáticas con el fin de verificar la hermeticidad del contenedor del biorreactor.
- Analizar mediante simulaciones computarizadas la transferencia de calor.

## **1.3 Marco Teórico**

### **1.3.1 Biodigestión**

Biodigestión o la digestión anaeróbica es un proceso biológico que se produce cuando la materia orgánica se descompone por ciertos grupos de microorganismos en ausencia de oxígeno (es decir, anaeróbico). Cuando estos microorganismos degradan la materia orgánica, realizando un proceso de óxido reducción, entonces el biogás es liberado y capturado. El biogás se compone de aproximadamente 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, además conteniendo otros gases como nitrógeno, sulfuro de hidrógeno e hidrógeno en pequeñas concentraciones y vapor de agua en pequeñas trazas. Es así que el subproducto que resulta de la biodigestión se conoce como biol, siendo de bajo olor y rico en nutrientes como el nitrógeno y el potasio. El biol se puede utilizar como un fertilizante y acondicionador del suelo. (AFN, 2010).

Entre sus principales aplicaciones se encuentran la generación de calor, electricidad o sistemas mixtos.

Alternativamente, el biogás puede ser refinado a metano puro, a menudo llamado biometano, mediante la eliminación de otros gases. Esta corriente pura de biometano se puede utilizar como un sustituto del gas natural.

Existen dos procesos básicos de digestión anaerobia, que tienen lugar en diferentes rangos de temperatura de trabajo:

El primero, la digestión mesofílica, siendo el proceso más comúnmente utilizado para la digestión anaeróbica. Se lleva a cabo entre 20°C y 40°C y puede tomar un mes o dos para completar, produce menos biogás y requiere el saneamiento adicional.

El segundo proceso denominado digestión termofílica, siendo la tecnología menos común y más cara, por lo que se lleva a cabo típicamente entre 50-65°C, siendo necesario para este proceso una energía adicional para mantener la temperatura de funcionamiento más alta. Por otra parte, la producción de biogás se realiza en un período más corto de tiempo.

Además, la digestión anaeróbica tiene un flujo de proceso definido que consta de cuatro fases distintas:

**Hidrólisis:** Los compuestos complejos del material inicial (como carbohidratos, proteínas y grasas) se dividen en compuestos orgánicos más simples (por ejemplo aminoácidos, azúcares y ácidos grasos). Las bacterias hidrolíticas que participan en esta etapa liberan enzimas que descomponen el material por medios bioquímicos. Dando lugar a la siguiente reacción;



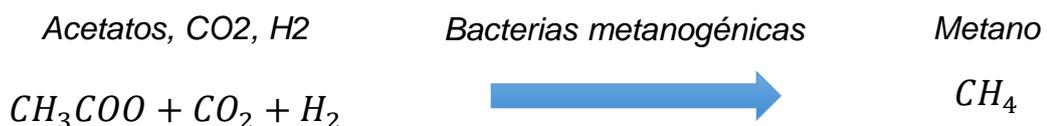
**Acidogénesis:** Los productos intermedios formados por la hidrólisis se dividen luego durante la acidogénesis (la fase de acidificación) por medio de bacterias fermentadoras (que forman ácidos) para formar ácidos grasos más bajos (acético, prebiótico y butírico) junto con dióxido de carbono e hidrógeno. Como se puede entender con la siguiente ecuación;



**Acetogénesis:** En esta etapa se forma ácido acético. Los productos de la acidogénesis se convierten por medio de bacterias acetogénicas en precursores de biogás (ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono). Dicha reacción se describe a continuación;



**Metanogénesis:** Es la etapa final de la generación de biogás, en esta sección las bacterias metanogénicas (Methanobacterium, Methanospirillum hungatii y Methanosarcina) elaboran el metano a partir del hidrógeno, el dióxido de carbono y acetato. Como resultado se obtiene la siguiente reacción;



### 1.3.2 Biorreactor.

Un biorreactor es un contenedor biológico que proporciona un medio ambiente interno controlado, el cual garantiza el crecimiento y desarrollo de

microorganismos que realizan funciones metabólicas. Este medio ambiente controlado proporcionado por el biorreactor debe tener niveles óptimos de presión, temperatura, acidez y oxígeno, para de ese modo convertir la materia prima en productos específicos. Al ser equipos donde se realizan procesos de cultivo, el desempeño depende en su totalidad del microorganismo que se selecciona para obtener el producto deseado. (*Reactores Químicos Apuntes, 2010*).

Los biorreactores se clasifican según su fase, su forma y su tipo de operación, siendo los tipos más comunes los siguientes:

- Biorreactor de bucle agitado por aire (neumático)
- Biorreactor de agitación hidráulica
- Biorreactor con agitación mecánica

Otra forma de clasificar a los biorreactores es por su forma de alimentación, o modo de operación, existiendo tres tipos:

- Continuo: La alimentación es ininterrumpida, por lo tanto, el flujo de carga es igual al flujo de descarga y la producción de gas es uniforme a través del tiempo. Este tipo de reactores es normalmente utilizado en plantas de gran capacidad o tipo industrial.
- Semi-continuo: La alimentación se da por intervalos, siendo la primera carga la de mayor contenido de materia prima. Estos intervalos dependen de la cantidad de materia consumida a través del tiempo.
- Discontinuo o batch: Se realiza una sola carga la cual se mantiene hasta que luego de cierto tiempo de fermentación el rendimiento de la producción de gas decae, se vacía el biorreactor y se realiza una nueva carga.

Los biorreactores además de proporcionar un ambiente cerrado para la fermentación de los microorganismos, deben realizar un conjunto de operaciones específicas para la obtención del producto deseado. Las operaciones realizadas por los biorreactores son las siguientes:

- Homogenización, para mantener la concentración y temperatura uniformes.

- Mezcla sólido/líquido, para mantener una distribución uniforme de sólidos suspendidos.
- Proceso líquido/líquido, forma emulsiones, dispersa una fase en otra y permite realizar extracciones.
- Proceso gaseoso/líquido, permite airear el líquido.
- Intercambio de calor.

Tomando en cuenta las tareas específicas que debe cumplir un biorreactor, estos también pueden clasificarse según;

- Su forma, la cual puede ser horizontal, vertical o esférica.
- Su tipo de agitación, que puede ser mecánica o no mecánica.
- Su temperatura de funcionamiento, se define como mesofílico o termofílico según los rangos.

### 1.3.3 Gasómetro

Un gasómetro es un recipiente de almacenamiento que contiene a un gas a alta presión, para el caso específico de los biorreactores se utilizan como un complemento del sistema sirviendo como almacenamiento de los gases producidos. Existen varias formas de gasómetros que se utilizan para estos casos, se clasifican de acuerdo a la presión de trabajo;

- **Almacenamiento a baja presión:** gasómetros flotantes con sello hidráulico, contruidos en chapa de acero con guías para elevación vertical. Funcionan también como digestores secundarios.
- **Almacenamiento a media y alta presión:** usualmente son de pvc o de algún polímero. En forma esférica u horizontal. Permiten contener el gas a presiones de hasta 8 bares.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Sobre la base de las consideraciones descritas en el capítulo anterior, el diseño de los biorreactores debe responder al grado de aplicación y a la finalidad de la tecnología en función del material de carga que se dispone o de las necesidades de producción, estas conllevan a varias decisiones críticas en el diseño, las cuales tienen un efecto considerable sobre el rendimiento del proceso.

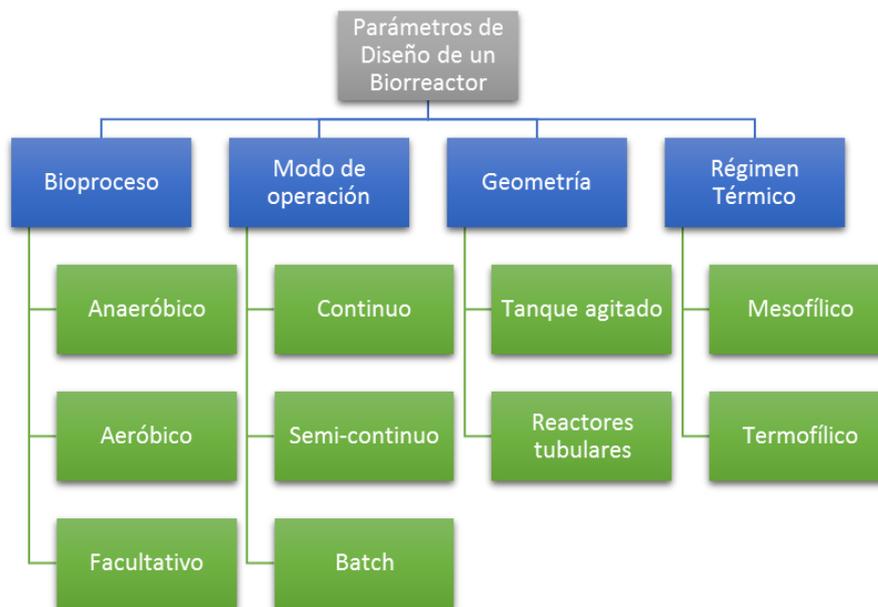
Anteriormente fue mencionada una clasificación general de los biorreactores, muchos autores priorizan unas sobre las otras pero no existe un procedimiento determinado para llegar a un diseño óptimo. Por esta razón hubo la necesidad de seleccionar las condiciones de operación en base a los objetivos planteados, la disponibilidad de componentes en el mercado local, el costo, la duración del proyecto, entre otros. Las siguientes preguntas fueron planteadas previo a decidir el diseño del biorreactor;

- ¿Qué configuración debía tener el biorreactor?
- ¿Qué tipo de agitación se necesitaba, mecánica o no mecánica?
- ¿Qué forma y tamaño debía tener?
- ¿Para qué condiciones de proceso se iba a diseñar?
- ¿Bajo qué modo operaría el biorreactor?

Estas preguntas fueron analizadas y en este capítulo se presentan como fundamento de la matriz de decisión y que dieron paso a la selección de los componentes del diseño.

### 2.1 Consideraciones generales de diseño

Los parámetros más destacados que fueron considerados para la etapa de diseño han sido resumidos en la figura 2.1.



**Figura 2.1. Parámetros de diseño de un biorreactor.**

Fuente propia.

### 2.1.1 Bioproceso

El bioproceso es una clasificación biológica de los reactores y está relacionada al metabolismo procesal del sistema de cultivo. Esta clasificación se divide en: anaeróbico, facultativo y aeróbico.

El proceso bioquímico que se pretende llevar dentro de este biorreactor es digestión anaerobia, los organismos que llevarán a cabo la conversión prevista son Quimioorgaoheterótrofos. Por tanto se diseñó un contenedor cerrado, impermeable y hermético, donde se deposita la mezcla de microorganismos que degradarán las largas cadenas poliméricas de la biomas a metano (gas) que se recolectará por la parte superior del equipo diseñado y biol que concentrará bacterias anaerobias, nutrientes y minerales y que será descargado luego del parte inferior del mismo.

Una vez determinada las necesidades del bioproceso, se escogió trabajar en el diseño y construcción de un biorreactor que satisfaga las necesidades de anaerobicidad y temperatura necesarios en el biorreactor.

## 2.1.2 Modo de operación

En referencia a lo expuesto en el capítulo 1, en relación a los modos de operación, se describirá en detalle los tres tipos de biodigestor considerados, sus características y las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

### Discontinuo o batch

Consiste en un sistema cerrado donde la alimentación se realiza por lotes o tandas, la carga total que se utiliza para un proceso de fermentación es colocada dentro del biorreactor monovolumen. El biorreactor se mantiene sellado durante el tiempo que sea necesario hasta que finalice la fermentación de toda la carga, a este periodo se lo conoce como tiempo de retención. Este tipo de sistema cerrado se caracteriza por mantener un ambiente y condiciones fisiológicas aisladas del exterior. Es necesario indicar que no existe entrada ni salida de medio de cultivo durante todo el proceso de fermentación.

Generalmente el sistema es utilizado a escala de laboratorio e investigaciones, puesto que no se necesita de mucho personal para su operación, no requiere que se alimente medio de cultivo (nutrientes) y el requerimiento de volumen de producción es pequeño. En la tabla 2.1, muestran las ventajas y desventajas del modo batch.

**Tabla 1. Ventajas y Desventajas de Sistema Batch.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Resulta más conveniente para operaciones multi producto.</li><li>○ Admite cargas húmedas o secas.</li><li>○ Trabaja por ciclos, por lo tanto no requiere un personal a cargo constante.</li><li>○ Excelente para uso en laboratorio y para pequeños volúmenes.</li><li>○ Fácil de detener y limpiar.</li><li>○ Bajo costo de construcción y operación debido a su simplicidad.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Requiere un tiempo de parada entre cargas.</li><li>○ Bajo costo de mantenimiento</li></ul>

Fuente propia.

## Semi-continuo

Conocido también como batch alimentado, consiste básicamente en un reactor tipo batch incluida una entrada para el ingreso del material hacia el sistema de cultivo, cuyo propósito es que el sistema tenga un producto con el máximo crecimiento y de este modo aumentar la productividad. Estos sistemas funcionan mediante la adición de un medio fresco, sin retirar el existente. En la tabla 2.2 se presentan las ventajas y desventajas del sistema semi-continuo.

**Tabla 2. Ventajas y Desventajas de Sistema Semi-continuo.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Excelente para reacciones homogéneas en fase líquida y para reacciones muy exotérmicas.</li><li>○ Permite tener un buen control sobre la temperatura.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Solo útil para pequeñas producciones.</li><li>○ Conllevan un alto costo de operación.</li></ul>

Fuente propia.

## Continuo

La forma de operación continua indica que existe un flujo de entrada y un flujo de salida de tal modo que el volumen de mezcla en el interior permanezca constante y la producción sea continua. Son mayormente utilizados para condiciones de producción constante, donde la disponibilidad del material de cultivo es alta, usualmente de uso industrial. Se comparan las ventajas y desventajas en la tabla 2.3 a continuación.

**Tabla 3. Ventajas y desventajas de sistema continuo.**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Perfecto para grandes volúmenes de producción.</li><li>○ Adecuado para la generación de electricidad o calefacción en hogares y en la industria.</li><li>○ Máximo aprovechamiento de la energía de los gases producidos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Presenta problemas a la hora del mantenimiento, sobre todo de las condiciones de asepsia del proceso.</li><li>○ Requiere el diseño de sistemas complementarios que permitan suministrar continuamente el medio de cultivo, la salida y almacenamiento de los gases que se producen</li><li>○ Requiere la presencia constante de uno o más operadores.</li><li>○ Construcción específica para un solo producto.</li><li>○ Requiere sistemas de control avanzados.</li></ul>

Fuente propia.

### **2.1.3 Geometría**

Por su geometría los biorreactores se dividen en dos grandes grupos; tanques agitados y reactores tubulares.

#### **Tanques agitados**

Son recipientes, por lo general cilíndricos, que pueden ser empleados para operaciones continuas y discontinuas. Poseen un sistema mecánico que puede ser accionado por un motor que permite la homogenización de la mezcla mediante el uso de impulsores o aspas para agitar el medio de cultivo dentro del reactor.

El sistema de agitación depende de la geometría del biorreactor y de la viscosidad del material a fermentar, su función principal es el de generar la potencia necesaria para producir una mezcla homogénea del cultivo, maximizando la liberación del gas evitando la acumulación y sedimentación de lodos en la parte superior del tanque y favoreciendo el contacto del substrato y las bacterias. Existen 3 tipos de mecanismos de agitación los cuales son descritos a continuación:

- Mecánica: se realiza a través de agitadores manuales o con motores eléctricos.
- Hidráulica: utiliza bombas de flujo lento se hace recircular la biomasa.
- Neumática (Burbujeo de biogás): este sistema recircula el biogás producido al fondo del biodigestor por medio de cañerías, produciendo un burbujeo y de esta manera movimiento de la biomasa Los sistemas de agitación mecánica (agitador de hélice o palas, de eje vertical u horizontal) y neumática (recirculación de biogás a presión), y se realiza a baja velocidad y son los sistemas más utilizados

## **Reactores tubulares**

Tienen forma cilíndrica alargada, de gran longitud relativa a su diámetro y son utilizados solamente para operaciones continuas. Dentro de estos sistemas continuos se da movimiento estacionario en alguno o todos sus reactivos, en alguna dirección, sin la mezcla inducida de los elementos de la mezcla; este modo de flujo hace que la composición varíe de forma continua en aquella dirección. Se emplean fundamentalmente para reacciones en fase gas, aunque también con fluidos y sólidos.

### **2.1.4 Régimen Térmico**

La temperatura es considerada como uno de los factores de mayor relevancia en los procesos anaeróbicos, ya que con esta se define las velocidades de reacción (tiempo retención del producto) que se lleva a cabo en el proceso biológico, la solubilidad de los gases (incremento de producción) y el daño que esta pueda causar a los microorganismo presentes en el.

Con respecto a esto se han logrado definir dos rangos de trabajo donde puede efectuarse satisfactoriamente el proceso anaeróbico. (*La Digestión Anaerobia: Aspectos Teóricos PARTE 1, 2005*) Ellos son los siguientes:

- Mesofílico entre 20 y 45 °C.
- Termofílico entre 45 y 60 °C.

Lograr una temperatura óptima del proceso es un trabajo complicado ya que esta dependerá del tipo de materia utilizada y de la temperatura exterior, por lo anteriormente planteado es más conveniente trabajar en el rango termófilo.

En la tabla 2.4 se pueden comparar mejor las ventajas y desventajas de la operación en los rangos de temperatura ya mencionados; A continuación la tabla mencionada.

**Tabla 4. Ventajas y Desventajas de los Regímenes de Temperatura.**

<b>RÉGIMEN DE TEMPERATURA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>Mesofílico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bajo costo de equipos</li> <li>○ Menor cuidado de microorganismos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Baja producción de gas (temperaturas fluctuantes)</li> <li>○ Tiempo de retención prolongados</li> <li>○ Menor eficiencia en el proceso</li> </ul>
<b>Termofílico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aumento en producción de gas</li> <li>○ Menor tiempo de retención de materia</li> <li>○ Temperaturas estables</li> <li>○ Mayor eficiencia del proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Altos costos de equipos</li> <li>○ Mayor cuidado de microorganismos</li> </ul>

Fuente propia.

## 2.2 Alternativas de diseño

Parte del diseño es generar alternativas para cada uno de los componentes del sistema, compararlas y escoger la más adecuada basándonos en los conceptos mencionados en la sección 2.1.

Adicionalmente se debe considerar los requerimientos y exigencias del usuario, los cuales nos servirán como referencia para la selección de los parámetros expuestos con anterioridad. Los variables impuestas para este proyecto son los siguientes;

- Utilizar un autoclave fuera de servicio, que se encuentra en posesión del CDTs, como tanque principal para el biorreactor.
- Elevar el tanque 300 mm con respecto a su altura actual.

- El biorreactor se utilizará para pruebas de laboratorio, por lo que debe escogerse el modelo y forma de operación más convenientes para este propósito.
- El proceso de biodigestión debe realizarse en un régimen de temperatura termofílico (50°C).

### 2.2.1 Selección de alternativas

Luego de conocer las características de cada uno de los parámetros descritos para el diseño de los biorreactores más a fondo, las ventajas, desventajas y los usos de sus alternativas, se procederá a seleccionar la disposición del sistema con una matriz de decisión, comparando cada uno de los parámetros en base a los siguientes criterios mostrados en la Tabla 2.5.

**Tabla 5. Matriz de decisión de consideraciones generales de diseño.**

		Tiempo de retención	Costo de mantenimiento	Tiempo de fabricación	TOTAL
Modo de Operación	Batch	4	5	5	14
	Semi- Continuo	4	3	3	10
	Continuo	4	1	1	6
Geometría	Tanque agitado	5	5	4	14
	Reactor tubular	3	3	4	10
Régimen térmico	Mesofílico	2	4	4	10
	Termofílico	5	3	4	12
Agitador	Mecánico	5	5	5	15
	Hidráulico	5	3	4	12
	Neumático	5	3	4	12

Fuente propia.

Cada uno de los criterios con el que evaluamos los parámetros tiene una ponderación del 1 al 5, siendo valorado en la siguiente escala;

1= Baja importancia

5= Alta importancia

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de decisión, se tiene los parámetros con mayor ponderación siendo los siguientes:

1. Modo de operación
  - Batch
2. Geometría
  - Tanque agitado
3. Régimen térmico
  - Termofílico
4. Modo de agitador
  - Agitación mecánica

Esta selección es la que se ajusta a los requisitos solicitados por el usuario y al ser un biorreactor para pruebas de laboratorio es fundamental minimizar costos de operación además de una producción en plazos cortos de tiempo.

Para ilustrar esto se debe mencionar que tanto el régimen térmico y el modo de operación poseen consideraciones específicas en la selección de su sistemas de operación los cuales ilustraremos más abajo.

### **2.2.2 Consideraciones específicas**

Para estas consideraciones realizaremos nuevamente una matriz de selección con la misma ponderación utilizada en la matriz anterior pero con diferentes parámetros para su evaluación.

#### **Para el agitador:**

El agitador es un mecanismo el cual consiste en un eje en cuyo extremo se ubica un rodete con álabes que mueven el fluido donde se encuentra inmerso, siendo

su función principal la de homogenizar la mezcla. Además cuenta en el otro extremo con un sistema motriz.

**Tabla 6. Matriz de Decisión del Sistema de Agitación.**

		Costo de fabricación o implementación	Tiempo de implementación	Costo de mantenimiento y operación	TOTAL
<b>Mecanismo Impulsor</b>	Motor eléctrico con reductor	4	3	4	11
	Manivela	4	4	5	13
<b>Forma de Rodete</b>	Hélice	2	3	4	9
	Paletas	5	5	5	15
	Tornillo	3	4	3	10
	Turbina	1	2	1	4

Fuente propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, tenemos los parámetros con mayor ponderación:

1. Mecanismo impulsor
  - Manivela
2. Forma de rodete
  - Paletas

### **Para el régimen termofílico**

El régimen termofílico fue seleccionado para la operación del tanque, esto quiere decir que se necesita un método para llevar la mezcla de biomasa y agua a la temperatura requerida por el régimen. Para llevar esto a cabo es necesario un intercambiador de calor y un aislante para el tanque. Las matrices de selección con las alternativas para el sistema térmico se muestran en la tabla 2.7 a continuación:

**Tabla 7. Matriz de Decisión del Sistema Térmico.**

		Costo del material	Tiempo de implementación	Costo de mantenimiento	TOTAL
<b>Intercambiador de Calor</b>	Serpentín	4	5	5	<b>14</b>
	Chaqueta	5	3	5	<b>13</b>
	Resistencia Eléctrica	2	5	3	<b>10</b>
<b>Aislante Térmico</b>	Fibra de vidrio	2	3	3	<b>8</b>
	Poliuretano	4	4	4	<b>12</b>
	Rubatex	2	5	4	<b>11</b>

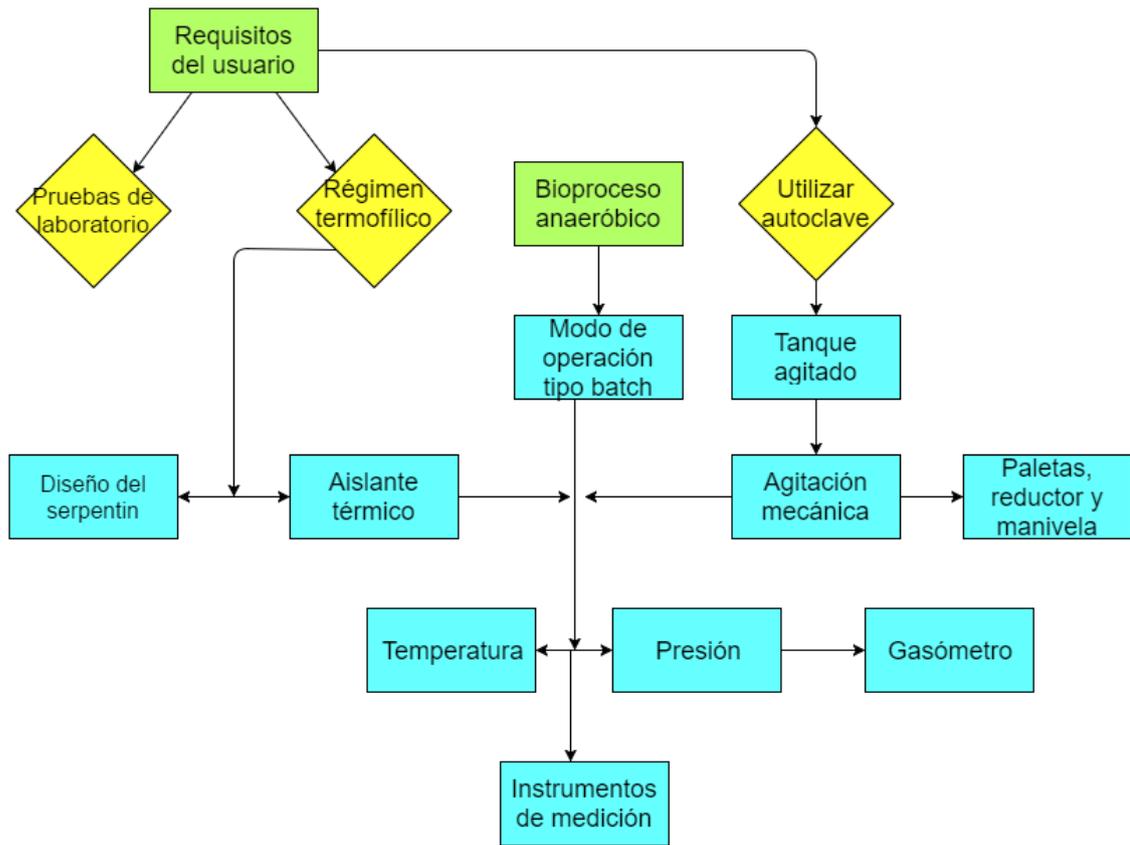
Fuente propia.

En esta sección los resultados obtenidos, son los siguientes:

1. Intercambiador de calor
  - Serpentín
2. Aislante térmico
  - Poliuretano

### **2.3 Esquema de la metodología de diseño**

Combinando: de las condiciones impuestas por el usuario, (limitaciones en el diseño) y las alternativas propuestas con mayor ponderación en la matriz de selección, se presenta a continuación en la figura 2.2 el esquema a seguir para cumplir con las necesidades de operación del biorreactor.



**Figura 2.2. Esquema de la Metodología del Diseño.**

Fuente propia.

## 2.4 Diseño de intercambiador de calor

Para el diseño del intercambiador de calor se considera un sistema en estabilidad térmica, por lo que es modelado como un intercambiador de tubo y coraza con flujo cruzado. (Incropera, 2007).

La forma del intercambiador seleccionada es un serpentín, por lo tanto el objetivo de los cálculos es definir la longitud total de la tubería que se requiere para mantener un sistema estable termofílico dentro del biorreactor.

El cultivo que se requiere calentar es una mezcla de biomasa con agua, cuyas proporciones son de 10% de sólidos y 90% de agua, por lo cual, el cultivo puede ser modelado como agua para facilitar los cálculos.

Como primera interrogante se tiene el coeficiente convectivo de la mezcla (*Handbook of Heat Transfer, 1998*), para calcularlo se utiliza la siguiente correlación:

$$Nu = [Nu_t^m + Nu_\ell^m]^{\frac{1}{m}} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Esta correlación corresponde a un fluido estático contenido en diferentes geometrías. Para el biorreactor el Nusselt se resuelve con las tablas definidas para cilindros con tapas utilizando la relación geométrica entre la altura y diámetros de la mezcla.

Para definir el coeficiente convectivo una vez calculado el Nusselt, se utiliza la siguiente relación:

$$h = \frac{Nuk}{D} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde  $k$  y  $D$  son valores conocidos.

Una vez calculado el coeficiente convectivo de la mezcla, se realiza el balance de energía del sistema para calcular el calor requerido. Donde se tiene:

$$Q_{entra} = Q_{sale} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

$$Q_{requerido} + Q_{in} = Q_{out} + Q_{gen} + Q_{perdidas} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

La configuración del sistema implementado es de alimentación discontinua por lo tanto el calor que entra  $Q_{in}$  y el calor que sale  $Q_{out}$  son despreciables por lo cual el balance de energía queda de la siguiente forma:

$$Q_{requerido} = Q_{gen} + Q_{perdidas} \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

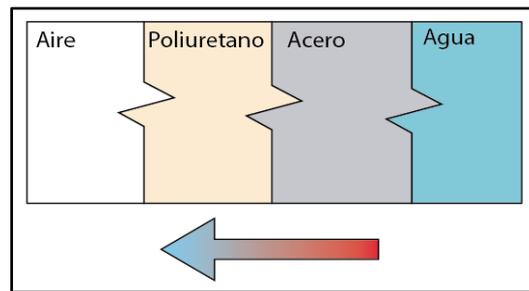
El calor generado es el calor que requiere el cultivo para alcanzar la temperatura del régimen termofílico en un tiempo determinado. Se considera una temperatura de trabajo de 55°C y una temperatura ambiente de 25°C, se considera también un tiempo de calentamiento de 24 horas.

$$Q_{gen} = \dot{m}Cp\Delta T \text{ [w]} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

El calor de pérdidas es el calor que escapa por toda la geometría del reactor el cual se calcula considerando un 70% de las paredes del tanque y la base aisladas, y el resto sin aislante. Por lo tanto se tiene:

$$Q_{perdidas} = Q_{perdidas1} + Q_{perdidas2} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

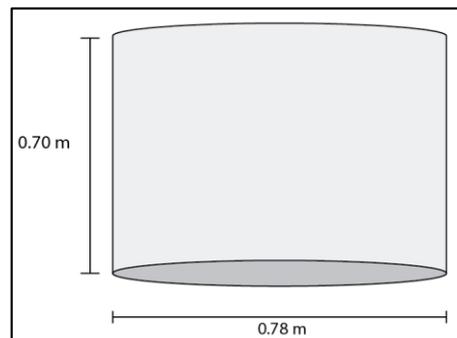
Donde ***Q<sub>pérdidas1</sub>*** representa al calor que se pierde por la parte aislada, cuyo gráfico de resistencias térmicas es representado por la siguiente figura:



**Figura 2.3. Esquema de Resistencias Térmicas de la Parte Aislada.**

Fuente propia.

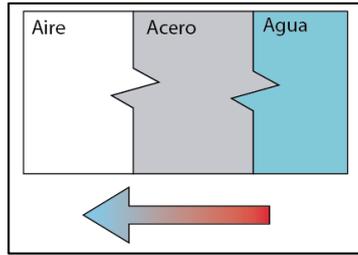
El área con aislante térmico del tanque está representada por la figura a continuación:



**Figura 2.4. Área Aislada del Tanque.**

Fuente propia.

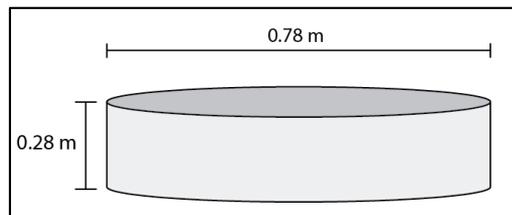
De la ecuación 2.6 se tiene que ***Q<sub>pérdidas2</sub>*** representa al calor por pérdidas del área que no tiene aislante térmico, y es representado por el siguiente diagrama de resistencias:



**Figura 2.5. Esquema de resistencias térmicas de la parte sin aislante.**

Fuente propia.

El área sin aislante térmico del tanque está representada por la figura a continuación:



**Figura 2.6. Área sin Aislante del Tanque.**

Fuente propia.

De los dos diagramas de resistencia, las áreas de transferencia y con las propiedades de los materiales ya conocidas, se pueden calcular las pérdidas utilizando las siguientes relaciones:

$$Q_{perdidas1} = U_1 A_{Tr1} \Delta T \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

$$Q_{perdidas2} = U_2 A_{Tr2} \Delta T \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

$$Q_{perdidas} = Q_{perdidas1} + Q_{perdidas2} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Y con las pérdidas totales se obtiene el calor total requerido del sistema. El calor requerido es igual al calor que debe suministrar el agua caliente que se utiliza para llevar el cultivo a la temperatura requerida. El agua pasa por una tubería de Polietileno de alta densidad, este material fue escogido ya que no se debe usar cobre debido a que es un bactericida y el acero inoxidable tiene un costo muy elevado. El diámetro escogido es de ½ pulgada, el cual es fácil de encontrar en el

mercado local y puede tomar la forma geométrica requerida la cual para este caso es una espiral. Para poder calcular la longitud necesaria de tubería primero se debe encontrar el coeficiente convectivo del agua que circula por ella. Para esto se utilizan las siguientes correlaciones considerando que el fluido que pasa a través de la tubería se encuentra en régimen laminar y completamente desarrollado obtenido a partir del cálculo de flujo másico y el número de Reynolds respectivo.

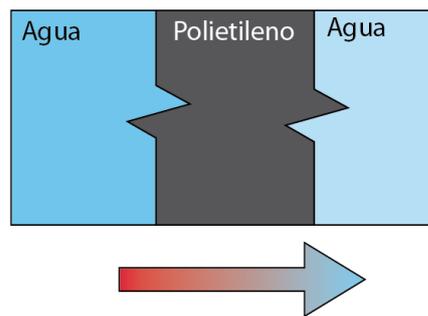
$$Nu = \frac{hD_i}{k} = 4.36 \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

$$\frac{hD_i}{k} = 4.36 \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

$$h = 4.36 \frac{k}{D_i} \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

El valor de Nusselt y de las propiedades del fluido son calculadas considerando la temperatura media de un sistema cuya temperatura máxima o de entrada es de 70°C.

El problema de transferencia desde el agua de la tubería hacia el cultivo se describe con la siguiente figura:



**Figura 2.7. Esquema de Resistencias Térmicas desde el Serpentin hacia el Cultivo.**

Fuente propia.

De este gráfico se obtiene el coeficiente global de transferencia de calor para este sistema el cual se describe con la siguiente ecuación:

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{h_{interno}} + \frac{e_{tuberia\ polietileno}}{k_{tuberia\ polietileno}} + \frac{1}{h_{externo}}} \left[ \frac{W}{m^2K} \right] \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

Como el problema se modela como un intercambiador de calor de tubo y coraza se utiliza la siguiente ecuación para el calor:

$$Q_{requerido} = UA\overline{\Delta T} \quad (\text{Ecuación 2.14})$$

Donde  $\overline{\Delta T}$  es el producto de la diferencia promedio efectiva de temperaturas y un factor de corrección que depende de las temperaturas de entrada y salida del serpentín y del biorreactor.

Conociendo el calor requerido, la diferencia de temperaturas y el coeficiente global de transferencia se puede calcular el área de transferencia requerida para la tubería despejando:

$$A = \frac{Q_{requerido}}{U \times F \times MLDT} \quad (\text{Ecuación 2.15})$$

Las dimensiones de la sección de tubería están tabuladas por el fabricante, por lo cual el diámetro externo de la tubería es un valor conocido, con este valor y con el área se calcula la longitud total de la tubería requerida:

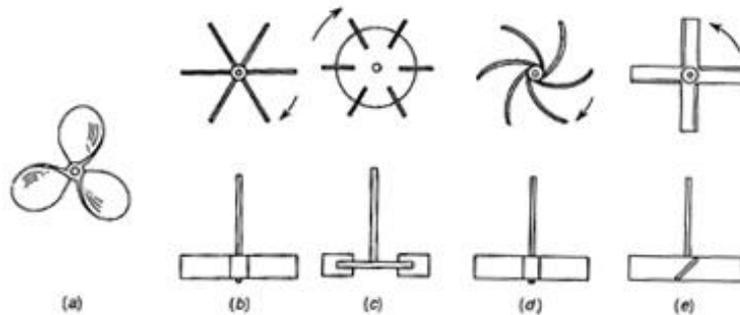
$$L = \frac{A}{\pi D_o} \quad (\text{Ecuación 2.16})$$

## 2.5 Diseño del agitador

El objetivo del diseño del agitador es definir las proporciones de la turbina, las cuales dependen de las dimensiones del tanque; y definir el diámetro del eje del agitador el cual depende de la potencia que se requiere para poder girar el mecanismo a la velocidad crítica para mantener una mezcla homogénea entre la biomasa y el agua. (*Unit operations of chemical engineering, 1976*).

### 2.5.1 Velocidad Crítica

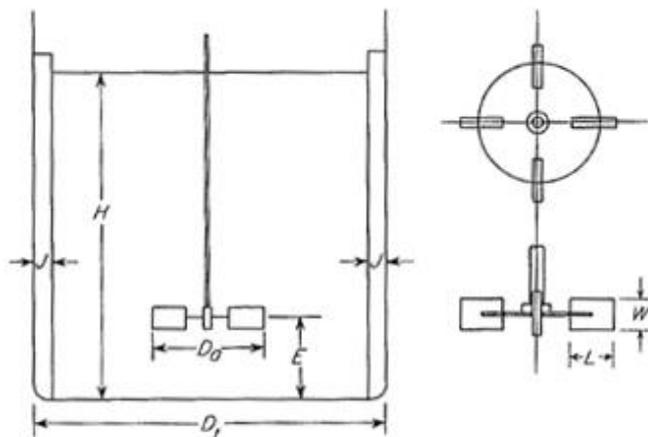
Para bajas velocidades se utiliza un agitador tipo turbina con un arreglo de disco con 6 álabes. Este tipo de agitador es uno de los más utilizados por su bajo costo de fabricación e instalación.



**Figura 2.8. Tipos de Turbina para Agitador.**

Fuente: Unit Operations for Chemical Engineering. Fourth Edition.

Las medidas del agitador se describen en la siguiente figura:



**Figura 2.9. Medidas del Agitador.**

Fuente: Unit Operations for Chemical Engineering. Fourth Edition.

Las proporciones del agitador se definen con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad (\text{Ecuación 2.17})$$

$$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4} \quad (\text{Ecuación 2.18})$$

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3} \quad (\text{Ecuación 2.19})$$

$$\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12} \quad (\text{Ecuación 2.20})$$

$$\frac{E}{Dt} = \frac{1}{4} \quad (\text{Ecuación 2.21})$$

Para calcular el diámetro del eje se necesita la velocidad rotacional, la cual depende de las propiedades de los componentes de la mezcla.

Para sólidos en suspensión en un fluido se tiene la siguiente correlación:

$$n_c Da^{0.85} = S_V^{0.1} D_p^{0.2} \left( g \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)^{0.45} B^{0.13} \quad (\text{Ecuación 2.22})$$

De esta correlación se despeja la velocidad crítica de rotación, los otros datos tienen valores conocidos que dependen de los componentes de la mezcla.

$$n_c = \frac{S_V^{0.1} D_p^{0.2} \left( g \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)^{0.45} B^{0.13}}{Da^{0.85}} \quad (\text{Ecuación 2.23})$$

### Potencia del agitador

Una vez calculada la velocidad crítica se puede calcular la potencia, la cual está definida por la siguiente ecuación:

$$P = n^3 \cdot Da^5 \cdot \rho \cdot N_p \quad (\text{Ecuación 2.24})$$

Donde  $N_p$  se define como factor de poder y se obtiene a partir del número de Reynolds:

$$Re = \frac{Da^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Ecuación 2.25})$$

### 2.5.2 Diámetro del eje

Con la potencia y la velocidad rotacional se calcula el torque:

$$T = \frac{P}{n} \quad (\text{Ecuación 2.26})$$

El valor del torque es determinante para calcular el diámetro del eje del agitador. Se determina que el eje del agitador se encuentra solamente sometido a torsión y en este caso el esfuerzo cortante por torsión es casi uniforme.

Se utiliza la siguiente ecuación para el diseño del eje:

$$De = \left[ \frac{32\eta}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt.M}{Sn'} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ecuación 2.27})$$

No se necesita factor de concentración de esfuerzos en el término del esfuerzo cortante por torsión, ya que se supone uniforme y por tanto las concentraciones tienen poco efecto sobre el potencial de falla.

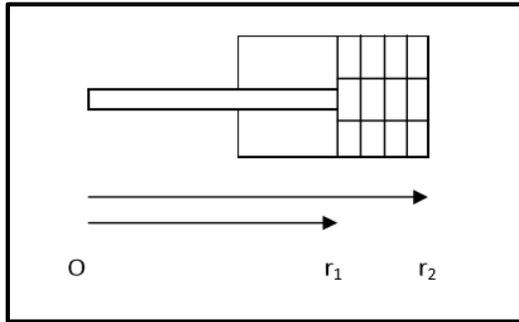
En el caso del eje del agitador no existen fuerzas transversales aplicadas que causen flexión, por lo tanto la ecuación se reduce a:

$$De = \left[ \frac{32\eta}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ecuación 2.28})$$

Se utiliza un factor de seguridad de 2 para diseños típicos de ejes donde existe confianza promedio en los datos de resistencia del material y las cargas. Como material se escoge acero inoxidable AISI 304.

### 2.5.3 Espesor de las aspas

El cálculo del espesor de las aspas se realiza de la siguiente forma:



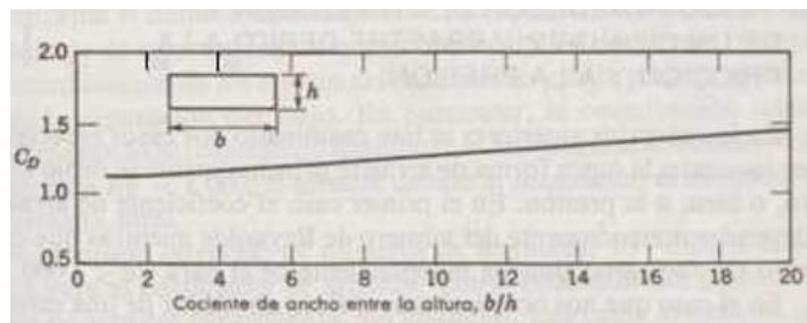
**Figura 2.10. Aspa de la turbina de disco de aspas planas.**

Se considera la fuerza que ejerce el fluido sobre la parte rayada del aspa. Esta fuerza se obtiene de la siguiente ecuación:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A \quad (\text{Ecuación 2.29})$$

Donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre y es una función de las dimensiones del aspa,  $V$  es la velocidad lineal del aspa y  $A$  es el área rayada del aspa.

$C_D$  se determina a partir de la relación entre el ancho y la altura del aspa, se utiliza la siguiente figura:



**Figura 2.11. Coeficiente de arrastre para aspas rectangulares.**

**(Eje Y:  $C_p$ ; Eje X: Cociente de ancho entre la altura  $b/h$ ).**

**Fuente: Introducción a la Mecánica de Fluidos. Mc Graw Hill. 2da Edición.**

Como el impulsor gira a una velocidad angular constante, la velocidad lineal de un diferencial de área varía con el radio, entonces se replantea la ecuación en función del radio de la siguiente manera:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2) (W \cdot r) \quad (\text{Ecuación 2.30})$$

Multiplicando ambos lados de la ecuación por  $dr$  y se integra entre los límites  $r_1$  y  $r_2$  se obtiene el valor del momento con respecto al punto O.

$$\int_{r_1}^{r_2} F_D dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2) (W \cdot r) dr \quad (\text{Ecuación 2.31})$$

$$M_O = \frac{1}{2} C_D \rho \omega^2 W \int_{0.15375}^{0.205} r^3 dr \quad (\text{Ecuación 2.32})$$

Se reemplaza este momento en la ecuación de flexión, considerando la resistencia a la fluencia del acero inoxidable AISI 304, la inercia de una sección circular y un factor de seguridad  $n=3$ . Se despeja el espesor:

$$S_y = \frac{n \cdot M_O \cdot y}{I} \quad (\text{Ecuación 2.33})$$

$$S_y = \frac{n \cdot M_O \cdot \frac{e}{2}}{\frac{W e^3}{12}} \quad (\text{Ecuación 2.34})$$

$$e = \sqrt{\frac{6 \cdot n \cdot M_O}{S_y \cdot W}} \quad (\text{Ecuación 2.35})$$

## 2.6 Accesorios y Aislante térmico

### Válvula de bola

Ubicadas en las salidas de cada tubería, permite controlar la circulación del fluido, las válvulas de este tipo ofrecen muy buena capacidad de cierre, siendo la apertura del mismo tamaño que el interior de la tubería tiene como resultado una pequeña caída de presión. Una de las principales características de este accesorio es la disminución de la fuga en la glándula del sello. (Recomendación de válvula cap. 4 Esta no es adecuada para su uso en una posición de apertura parcial para ningún propósito, tal como el control de caudal.)

### **Sello mecánico**

Es un elemento de estanquidad ubicado entre las partes móviles (eje rodante) y la parte fija o base, para seleccionar este accesorio es necesario conocer las condiciones de funcionamiento, el diámetro del eje, la velocidad, las dimensiones de alojamiento del sello y las características físicas del fluido para determinar compatibilidad química.

### **Dispositivos de medición**

Ubicados en la pared del tanque, se utilizarán dispositivos de cara horizontal para censar temperatura y presión interna del birreactor.

### **Adaptador de manguera**

Este accesorio permite la conexión interna del serpentín, este adaptador viene en diferentes formas, tamaños y material para su selección debemos conocer el diámetro, y las condiciones de operación al que va a ser sometido, pueden ser conexiones macho o hembras según el requerimiento.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

En este capítulo se analizará los resultados del diseño del biorreactor a partir de las modificaciones de la autoclave del CDTs. Estas modificaciones, cambios y adaptaciones parten de las ecuaciones mostradas en el anterior cuyos resultados serán descritos en esta sección.

Para comprobar el buen funcionamiento equipo se realizaron pruebas hidrostáticas, después de instalados los componentes y simulaciones para la transferencia de calor para conocer el comportamiento y la distribución de la temperatura en el sistema.

Todos los cálculos y resultados parciales se encuentran en la sección de anexos.

### 3.1 Resultados del diseño

Comprenden los resultados de los procedimientos para encontrar la longitud de la tubería del serpentín, las dimensiones del agitador y la selección de los accesorios explicados en el capítulo 2. Los valores se los ha calculado en base al requerimiento que demandaba la construcción de estos componentes, y que garantizan las condiciones de operación del biorreactor requeridas en el proceso seleccionado. Los cálculos en detalle se muestran en la sección de anexos.

#### 3.1.1 Resultados de cálculos del serpentín

##### 3.1.1.1 Coeficiente convectivo de la biomasa

Obtenido a partir de la correlación definida por la ecuación 2.1 y la relación de la ecuación 2.2.

$$h = 8.46 \left[ \frac{w}{m^2K} \right] \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

### 3.1.1.2 Calor requerido por el sistema

Obtenido del balance de energía (Ecuación 2.5), donde se considera el calor generado (2.6) y las pérdidas totales (2.7).

$$Q_{requerido} = 640.39[\text{w}] \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

### 3.1.1.3 Coeficiente convectivo del agua del serpentín

Obtenido a partir de la relación de flujo laminar definida por la ecuación 2.12

$$h = 184.53 \left[ \frac{\text{w}}{\text{m}^2 \text{k}} \right] \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

### 3.1.1.4 Coeficiente global de transferencia desde el serpentín

Se obtiene a partir del esquema de resistencia térmica (Figura 2.7) y la relación definida por la ecuación 2.13.

$$U_s = 7.86 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right] \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

### 3.1.1.5 Longitud de la tubería

La longitud total del serpentín se obtiene a partir de la ecuación 2.15 que relaciona al área de transferencia de la tubería con el calor requerido, el coeficiente global de transferencia de calor y la diferencia de temperatura logarítmica; y de la ecuación 2.16 que relaciona la longitud con el área.

$$L = 72.34[\text{m}^2] \approx 73[\text{m}] \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

## 3.1.2 Resultados de cálculos del agitador

### 3.1.2.1 Dimensiones del agitador:

Obtenidas a partir de la figura 2.9 y las relaciones 2.17 a 2.21. Son:

$$W = 0.052 \text{ m}$$

$$L = 0.065 \text{ m}$$

$$Da = 0.26 \text{ m}$$

$$J = 0.065 \text{ m}$$

$$E = 0.195 \text{ m}$$

### 3.1.2.2 Velocidad crítica del agitador:

Obtenida a partir de la relación definida por la ecuación 2.23.

$$n_c = 3.37 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

### 3.1.2.3 Potencia del agitador:

La potencia del agitador se calcula con la relación definida por la ecuación 2.24.

El valor del factor de poder varía con Reynolds (Ecuación 2.25), donde:

$$Re = 4.65 \times 10^5 \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

Para valores de Reynolds mayores a 10000 se tiene que  $N_p = k_t$ . Los valores de  $K_t$  se definen en la siguiente figura:

Type of impeller	$K_L$	$K_T$
Propeller, three blades		
Pitch 1.0 <sup>40</sup>	41	0.32
Pitch 1.5 <sup>33</sup>	55	0.87
Turbine		
Six-blade disk <sup>33</sup> ( $S_b = 0.25, S_d = 0.2$ )	65	5.75
Six curved blades <sup>40</sup> ( $S_d = 0.2$ )	70	4.80
Six pitched blades <sup>39</sup> ( $45^\circ, S_d = 0.2$ )	—	1.63
Four pitched blades <sup>33</sup> ( $45^\circ, S_d = 0.2$ )	44.5	1.27
Flat paddle, two blades <sup>40</sup> ( $S_d = 0.2$ )	36.5	1.70
Anchor <sup>33</sup>	300	0.35

Figura 3.1. Valores de constantes  $k_l$  y  $k_t$  para diferentes tipos de impulsor.

Fuente: libro.

La potencia resultante es:

$$P = 261 \text{ W} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

#### 3.1.2.4 Diámetro del eje del agitador:

El diámetro del eje se obtiene de la ecuación 2.28. Donde se considera un eje sometido solamente a torsión, utilizando acero AISI 204 y un factor de seguridad de 2. Se obtiene:

$$De = 18 \text{ mm} \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

#### 3.1.2.5 Espesor de las aspas:

El espesor de las aspas se calcula utilizando la relación 2.35, donde el momento se define según la ecuación 2.32 el cual se calcula considerando el arrastre producido sobre el área del aspa mientras este gira a la velocidad crítica. El espesor del aspa es:

$$e = 0.00015 \text{ m} \approx 2 \text{ mm} \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

### 3.1.3 Selección de accesorios

Para la selección de los accesorios se debe tener en cuenta los diámetros de las entradas y salidas presentes en la geometría de la autoclave en desuso, el diámetro de tubería que se utilizó para el cálculo del intercambio de calor del serpentín, además de las características y propiedades de los fluidos que intervienen (biomasa, agua y biogás).

Selección de válvulas, accesorios de conexión (neplos) y manguera de serpentín.

#### Manguera del serpentín

El polietileno de alta densidad no sufre de corrosión química ni galvánica, no trasmite olor, resiste ataque de medios agresivos conservando sus propiedades químicas. Las características de esta manguera son detalladas a continuación en la tabla.

**Tabla 8. Tabla de datos de manguera de PE de alta densidad.**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES
Diámetro nominal	½ pulgada
Diámetro interior	15.5 mm
Espesor min/máx	1.4mm/1.6mm
Presión de trabajo	120 PSI/ 0.83MPa
Longitud	100 m
Rango de Temperatura *	-30°C a +70°C      *110 °C

\*Temperatura de fusión

Fuente: Catálogo tubos Rival.

### Neplos

Conector de hierro galvanizado utilizado para la manguera del serpiente, resistente a altas temperaturas, sus características se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Tabla de datos de neplo.**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES
Diámetro nominal	½ pulgada
Material	Hierro galvanizado
Rosca de conexión	NPT
Temperatura	Resistente a altas temperaturas



**Figura 3.2. Neplo.**

Fuente: Catálogo Maquinarias Enriques C.A.

## Válvulas

Para el biorreactor se necesitarán 4 válvulas, para 3 fluidos diferentes por lo cual la selección será de un material resistente al medio. Estas válvulas serán tres de ½ pulgada de bola y una de 3 pulgadas de compuerta (descarga de biomasa), en las tablas a continuación se detallará las características técnicas:

**Tabla 10. Tabla de datos de válvula de bola.**

<b>VÁLVULA DE BOLA PARA ENTRADA, SALIDA DE SERPENTÍN Y SALIDA DE BIOGÁS</b>	
<b>Características</b>	<b>Unidades</b>
<b>Diámetro nominal</b>	½ pulgada
<b>Presión de trabajo</b>	72.5 PSI
<b>Material</b>	Acero niquelado
<b>Tipo de conexión</b>	Hembra/hembra
<b>Temperatura</b>	-20 hasta 80°C

Fuente: Catálogo Válvulas Itap.

**Tabla 11. Tabla de datos de válvula de compuerta.**

<b>VÁLVULA COMPUERTA SALIDA DE BIOMASA</b>	
<b>Características</b>	<b>Unidades</b>
<b>Diámetro nominal</b>	3 pulgadas
<b>Presión de trabajo</b>	72.5 PSI
<b>Material</b>	Acero niquelado
<b>Tipo de conexión</b>	Hembra/hembra
<b>Temperatura</b>	-20 hasta 80 °C

Fuente: Catálogo Válvulas Itap.

## Equipos de medición Manómetro y Termómetro

Estos equipos son seleccionados en función a los rangos de presión y temperatura que podrían alcanzar el biorreactor, siendo ambos analógicos, de carátula y con

lentes removibles, en las siguientes tablas se muestran las características técnicas para ambos equipos.

**Tabla 12. Tabla de datos del manómetro.**

<b>MANÓMETRO</b>	
<b>Características</b>	Unidades
<b>Diámetro del dial</b>	3.5 pulgadas
<b>Rango de medición</b>	0-30 Psi
<b>Material</b>	Acero inoxidable
<b>Tipo de conexión</b>	Macho NTP ½ pulgada standard
<b>Precisión</b>	±2-1-2%
<b>Lente</b>	acrílico

Fuente: Catálogo Winters.

**Tabla 13. Tabla de datos del termómetro.**

<b>TERMÓMETRO</b>	
<b>Características</b>	Unidades
<b>Diámetro del dial</b>	3.5 pulgadas
<b>Longitud</b>	450mm
<b>Rango de medición</b>	0-120 °C
<b>Material</b>	Acero inoxidable
<b>Tipo de conexión</b>	Macho NTP ½ pulgada standard
<b>Precisión</b>	±1%
<b>Lente</b>	acrílico
<b>Presión de trabajo máxima</b>	125 PSI

Fuente: Catálogo Winters.

### **Sello mecánico**

Seleccionado en base al eje del agitador consta de dos piezas una parte móvil y una fija, sus características son detalladas a continuación en la tabla 3.7:

**Tabla 14. Tabla de datos del sello mecánico.**

<b>SELLO MECÁNICO CM560B</b>	
<b>Características</b>	<b>Unidades</b>
<b>Diámetro nominal</b>	3/4 pulgadas
<b>Longitud</b>	32.5mm
<b>Velocidad de parte móvil</b>	10m/s
<b>Material</b>	Grafito (parte móvil), sello de caucho y grafito (parte fija)
<b>Temperatura de trabajo</b>	-40 a 150 °C
<b>Medio</b>	Aceite y agua
<b>Presión de trabajo máxima</b>	0.8 MPa

Fuente: Catálogo Wenzhou Changmi.



**Figura 3.3. Sello mecánico**

Fuente: Catálogo Wenzhou Changmi.

### **3.1.4 Modificaciones y adaptaciones del autoclave**

Utilizando como base el armazón de la autoclave se realizaron cambios a la estructura para la construcción de un biorreactor, estas modificaciones realizadas se describen a continuación.

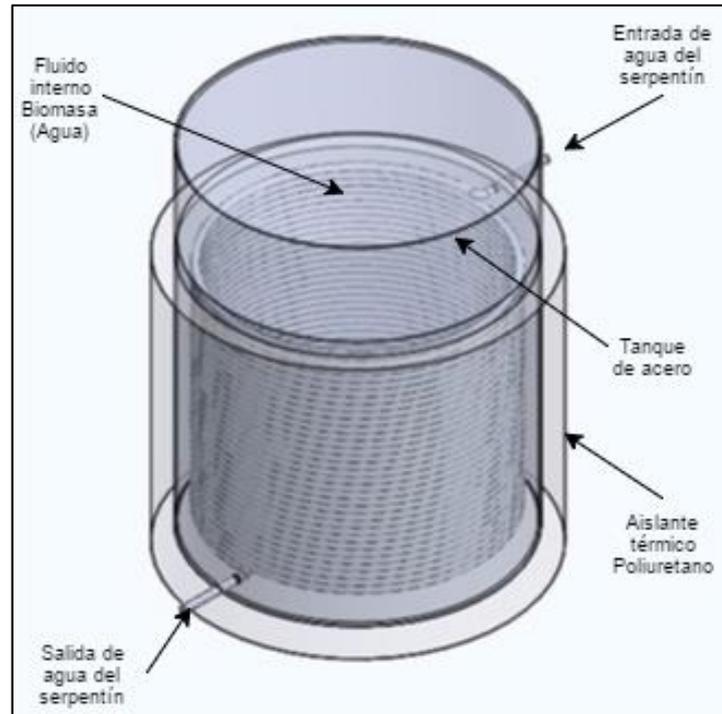
1. Se cambió la estructura de soporte del armazón de la autoclave, las originales se encontraban debilitadas por la corrosión presente en ellas (orificios por corrosión por picadura).
2. Se instaló un sistema de calentamiento (serpentín), para alcanzar la temperatura en régimen de trabajo interno del biorreactor.

3. Se colocó una camisa en el exterior de las paredes del tanque como protección del aislante térmico para mantener la temperatura al interior del biorreactor disminuyendo pérdidas.
4. Se instalaron equipos de medición para controlar temperatura y presión interna.
5. En la parte inferior del tanque se modificó el tamaño de la tubería de salida del material tratado de 2 a 3 pulgadas agregándole un refuerzo a la base debido a la corrosión presente.
6. En la parte superior se removió el contrapeso de apertura de la tapa del tanque y se colocaron dos orejas para ayudar a la elevación de la misma.
7. Se adaptó un sistema de agitación en la parte superior modificando la tapa con la colocación de una prensa estopa para la sujeción y sello del eje de rotación.
8. En el interior del tanque se adaptaron cuatro palatinas de guías para el serpentín, además estas guías funcionarán como deflectores.
9. Se realizó un granallado de 50 micras de perfil de rugosidad en toda la geometría del tanque para remover oxidación y preparar la superficie para la colocación una protección epóxica de 150 micras (pintura seca).

### **3.2 Resultados de la simulación**

Se elaboró un análisis de la transferencia de calor desde el serpentín hacia la biomasa (Modelada como agua), este análisis se realizó mediante un software de elementos finitos con la finalidad de validar los resultados obtenidos en los cálculos. El análisis computacional permite examinar como la distribución de temperatura se comporta a través del tiempo, es decir, en estado transiente; esto resulta en un análisis más realista, considerando que para los cálculos se asumió la estabilidad del sistema.

Para la simulación se realizó un dibujo representativo de cada uno de los componentes del sistema térmico que sirviera para el análisis de elementos finitos, en la figura a continuación se muestra el dibujo esquemático:



**Figura 3.4. Dibujo representativo del sistema para la simulación.**

Fuente propia.

Para la simulación se consideraron las siguientes condiciones:

Sólidos:

- Biomasa modelada como agua
- Tanque de acero ASTM A36
- Aislante térmico de Poliuretano
- Serpentín de PE Alta densidad

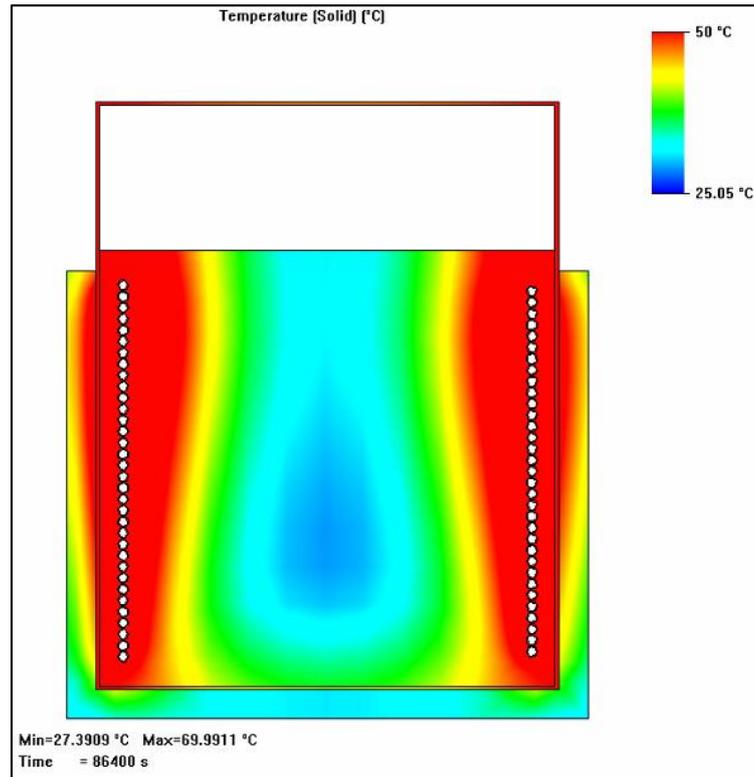
Fluidos:

- Fluido de trabajo agua
- Medio circundante aire

Condiciones de frontera:

- Flujo de entrada de agua de serpentín de 0.00866 m<sup>3</sup>/s a 70°C
- Salida de agua del serpentín a presión atmosférica.
- Temperatura ambiente de 25°C

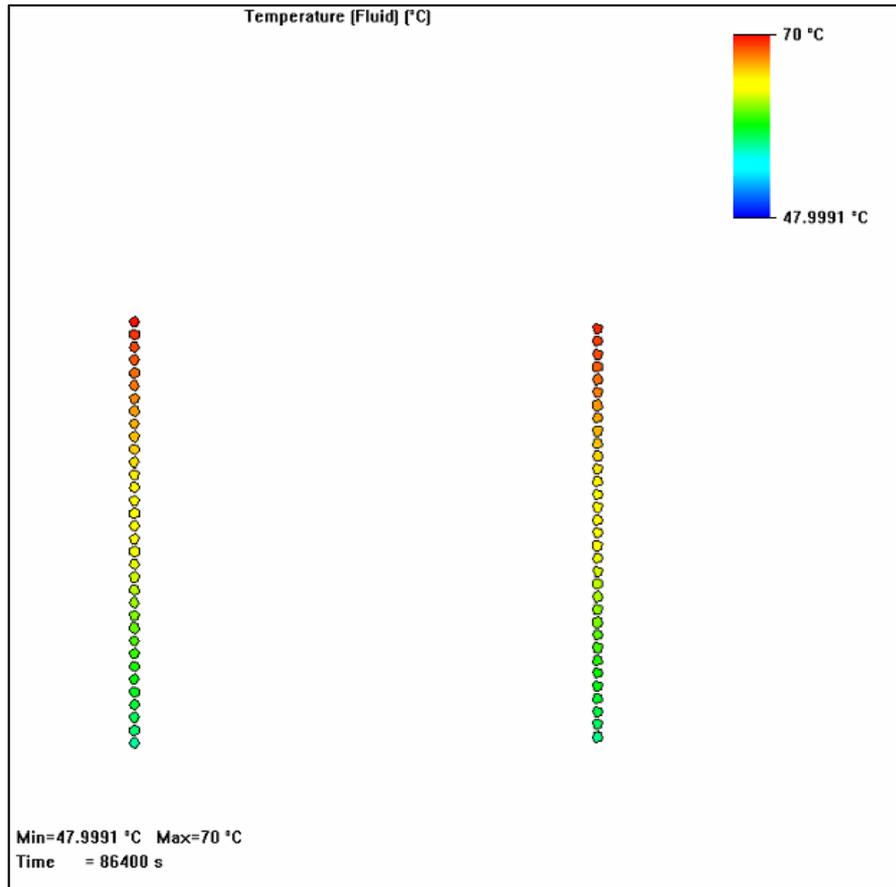
Las gráficas resultantes se muestran a continuación:



**Figura 3.5. Distribución de temperatura en el biorreactor luego de 24 horas.**

Fuente propia.

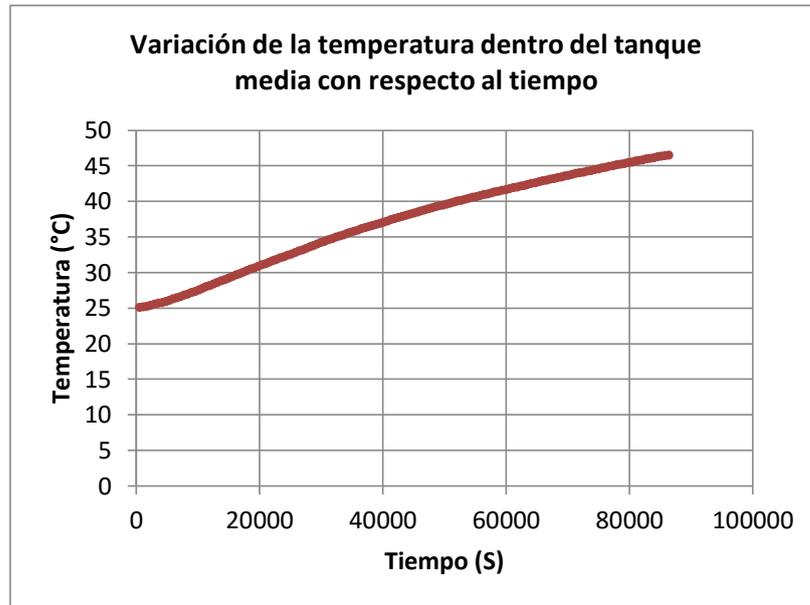
La figura 3.5 muestra de forma gráfica como la temperatura se distribuye en todo el tanque, siendo las zonas en color rojo las de mayor temperatura y en azul los de menor temperatura. La temperatura media dentro del tanque es de 48°C.



**Figura 3.6. Distribución de temperatura dentro del serpentín luego de 24 horas.**

Fuente propia.

En la figura 3.6 se observa la variación de temperatura a lo largo del serpentín, teniendo en la parte superior, a la entrada del serpentín, la temperatura más alta y a la salida en la parte inferior la temperatura más baja. La temperatura media dentro del serpentín es de 59°C.



**Figura 3.7. Gráfico de temperatura vs tiempo en el interior del tanque.**

Fuente propia.

La figura 3.7 muestra como la temperatura en el interior del tanque aumenta con respecto al tiempo, luego de 24 horas el tanque ya se encuentra a 46°C en promedio lo que indica que ha alcanzado el régimen termofílico deseado para la operación del biorreactor.

### 3.3 Resultados de pruebas

Durante la fase final de construcción del birreactor, se realizaron pruebas de hermeticidad y estanqueidad al tanque de almacenamiento, mangueras, conexiones y uniones soldadas, utilizando las normas API 650 (American Petroleum Institute), ASTM A36 (American Standard for Testing Materials) y UL-98 (Underwriters Laboratories).

El objetivo que tienen estas pruebas es el de verificar la integridad del recipiente y sus componentes para el almacenamiento a presión atmosférica en tanques. Las pruebas se inician con ensayos no destructivos a las soldaduras presentes en el cuerpo del tanque, estos ensayos pueden ser tintas penetrantes o pruebas radiográficas. Para el caso de este proyecto se utilizó el ensayo de tintas penetrantes en el couplin de la termocupla y la unión de la tubería de descarga del tanque de acuerdo a la sección V del código ASME.

El siguiente paso es el llenado del tanque con agua, donde se debe verificar la estanqueidad tanto de las juntas soldadas, como los elementos y partes que lo componen. Este llenado no debe de exceder del 90% del volumen del tanque, tomando lecturas en el inicio, al llegar a la mitad, a los  $\frac{3}{4}$  de llenado y en el nivel máximo, durante el tiempo establecido por la empresa que realice la prueba, siendo este tiempo no menor a 24 horas. Durante este proceso se detectan fugas presentes y se procederá en el caso que exista a la reparación.

A la manguera se le realizó una prueba hidráulica que consistió en inyectar agua a través de la línea a una presión máxima de 15 PSI para detectar posibles fugas, mientras el tanque se encontraba lleno.

Una vez terminadas las pruebas se drena completamente el reservorio, procediendo a realizar el resultado final indicando si la prueba es aceptada o rechazada por el departamento de calidad.

Los resultados de las pruebas descritas fueron satisfactorios, asegurando la hermeticidad tanto en la estructura como en los accesorios, la ficha técnica de la prueba se encontrará en la sección de anexos.

### **3.4 Análisis de costos**

A continuación se muestran en detalle los costos directos e indirectos para la implementación del proyecto.

#### **3.4.1 Costos directos**

Los costos directos comprenden varios rubros como materiales, instrumentación, accesorios, operaciones horas/hombre y construcción.

En la tabla a continuación se detallan los costos directos del proyecto:

**Tabla 15. Costos directos del proyecto**

<b>MATERIALES</b>				
<b>Actividad</b>	<b>Material</b>		<b>Precio</b>	
Alargar Patas	Canales 600		\$10,88	
Instalar Serpentín	Platinas 700x25		\$1,09	
Quitar Caja lateral y parchar	Parche		\$2,18	
Instalar orejas en tapa	Orejas		\$2,18	
Fabricar Agitador	Torta, eje y platinas		\$15,63	
Instalar Couplin para Termocupla	Couplin		\$2,45	
Fabricar Prensa estopa	Barra perforada 50x25		\$2,07	
Pintura	Pintura epóxica		\$65,29	
<b>TOTAL MATERIALES</b>			<b>\$101,77</b>	
<b>ACCESORIOS</b>				
<b>Accesorio</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	
Codo ½ in.	\$1,50	3	\$4,50	
Neplo perdido ½ in.	\$0,48	3	\$1,44	
Neplo 3½ x ½ in.	\$1,00	3	\$3,00	
Bushing 1 - ½ in.	\$0,48	2	\$0,96	
Bushing ¾ - ½ in.	\$0,48	1	\$0,48	
Válvula de esfera ½ in.	\$6,00	3	\$18,00	
Válvula de compuerta 3 in.	\$65,00	1	\$65,00	
Manómetro	\$5,85	1	\$5,85	
Termocupla	\$30,00	1	\$30,00	
Manguera PE	\$26,00	1	\$26,00	
Tapones 3/8 in.	\$0,86	2	\$1,72	
Sello mecánico ¾ in.	\$25,00	1	\$25,00	
Aislante térmico (rollo 2 in)	\$54,00	1	\$54,00	
Empaque 6 mm	\$34,00	2	\$68,00	
<b>TOTAL ACCESORIOS</b>			<b>\$303,95</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>Actividad</b>	<b>Horas Armado \$9,52</b>	<b>Horas Soldadura \$108,82</b>	<b>Horas Pintura/ Granallado \$8,70</b>	<b>Precio</b>
Alargar Patas	6	1		\$165,94
Instalar Serpentín	6	1		\$165,94
Quitar Caja lateral y parchar	2	1		\$127,86

Quitar soporte lateral con ángulo	1			\$9,52
Instalar orejas en tapa	1	0.5		\$63,93
Fabricar Agitador	5	0.5		\$102,01
Instalar platinas	2			\$19,04
Instalar Couplin para Termocupla	1	1		\$118,34
Fabricar Prensa estopa	10	1		\$203,82
Granallado			6	\$52,20
Pintura			4	\$34,80
Ensamble final	8			\$76,16
Prueba Hidrostática	10			\$95,20
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>1234.76</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>				<b>1640.48</b>

Fuente propia.

### 3.4.2 Costos indirectos

Los costos indirectos son los valores que son considerados parte de la producción aunque no relacionados directamente a la construcción. Entre estos valores se encuentran los costos de ingeniería, impuestos y utilidades.

Los valores de las utilidades y los costos de ingeniería son calculados con respecto a la suma de los costos de materiales y la mano de obra. Se considera un valor del 20% para cada uno de estos rubros y sobre el subtotal se añade el IVA del 12%. En la tabla 3.9 a continuación se detallan los costos indirectos:

**Tabla 16. Costos indirectos del proyecto.**

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	
<b>Subtotal (Materiales y Mano de obra)</b>	<b>\$1336,53</b>
Utilidad (20%)	\$267,31
Costos de ingeniería (20%)	\$267,31
<b>Subtotal</b>	<b>\$1871,15</b>
IVA (12%)	\$224,54
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>\$759,16</b>

Fuente propia.

### 3.4.3 Costo total

El costo total se define como la suma de los costos directos y costos indirectos que fueron detallados en las tablas 3.8 y 3.9 respectivamente. En la tabla 3.10 a continuación se muestra el costo total del proyecto.

**Tabla 17. Costo total del proyecto**

<b>COSTO TOTAL</b>	
Costos directos	\$1640,48
Costos indirectos	\$759,16
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$2399,64</b>

Fuente propia

### 3.4.4 Costo de fabricación de tanque nuevo

Sin la disponibilidad del autoclave se tendría que fabricar un tanque nuevo a partir de cero. El costo del biorreactor sería la suma del costo total mostrado en la tabla 3.10 más el costo de un tanque de almacenamiento nuevo con especificaciones similares al autoclave actual, el cual sería aproximadamente **\$2918,52** considerando costos de materiales y fabricación.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este capítulo se analizan los resultados en base a los objetivos planteados, se discuten los resultados parciales de cada una de las etapas del diseño y se plantean recomendaciones como posibles mejoras.

### 4.1 Conclusiones

Se obtuvo un equipo de biodigestión a partir de la estructura de un autoclave dado de baja por la FIMCP, su estructura cuenta con lo siguiente:

- Sistema de calentamiento por medio de un serpentín como intercambiador de calor.
- Sistema de aislamiento térmico.
- Sistema de agitación.
- Sistemas de control de temperatura y presión.

La construcción de las modificaciones se realizó bajo normas en su estructura y componentes (Sección 3.3) sometiéndolo a prueba hidrostática donde se logró verificar su hermeticidad, de este modo el equipo queda listo para operar con diferentes cultivos bajo condiciones controladas en laboratorio.

Para el sistema de calentamiento se utilizó manguera de PE de alta densidad como serpentín para el intercambiador de calor. Se escogió este material ya que es utilizado para transferencia de calor en aplicaciones de geotermia, otra opción considerada era el acero inoxidable pero resultaba en un costo elevado la fabricación de un serpentín de este material. El cobre fue definitivamente descartado debido a sus propiedades bactericidas. Como estructura de soporte para el serpentín se tenía considerado colocar una malla de acero soldada sobre las bases del tanque, pero por facilidad se utilizaron solamente cuatro platinas

soldadas a la base que fueron lo suficientemente rígidas para soportar el serpentín y a su vez actúan como una especie de baffles.

Luego de realizar la simulación del sistema térmico (Sección 3.2) se comprobó que el sistema seleccionado alcanza una temperatura media de 48°C en el interior del tanque valor que se encuentra dentro del régimen termofílico requerido por el proceso. Se obtiene un Bias de 6°C con respecto a los cálculos, de esta manera quedan validados los cálculos realizados en la Sección 2.4.

En la figura 3.5 se puede observar la forma en la que la temperatura es distribuida en el interior del tanque, donde las zonas más calientes se encuentran cerca del serpentín. El agitador instalado además de homogenizar la mezcla permite la redistribución de la temperatura dentro del biorreactor y el movimiento del fluido genera a su vez cierto incremento de temperatura adicional.

Una de las ventajas de la readecuación del autoclave es el ahorro en costos de fabricación, estos disminuyen aproximadamente en un 50% con respecto a la construcción de una unidad nueva con la misma capacidad (0.45 m<sup>3</sup>).

Al considerar el diseño del biorreactor en régimen termofílico se podrá operar también bajo condiciones mesofílicas de temperatura.

Finalmente, el desarrollo de este proyecto planteado cubre la necesidad de contar con un sistema adecuado para la realización del estudio con diferentes tipos de biomasa, cuyos resultados permitirán desarrollar proyectos en el sector industrial a mediana y mayor escala.

## **4.2 Recomendaciones**

Para la agitación se recomienda la implementación de motorreductor para poder alcanzar el requerimiento de potencia establecido en la sección 3.1.2.3.

A pesar de que se realizó una simulación de la transferencia de calor, los valores obtenidos son referenciales al diseño y estos pueden variar al momento de realizar las pruebas en laboratorio.

Recomendamos realizar un estudio de obtención de datos de temperatura durante la noche para cerciorarse de que la temperatura se mantenga en el régimen térmico de operación.

A pesar de que el sistema cuenta con un recubrimiento epoxico anticorrosivo, es recomendable utilizar un sistema adicional anticorrosión para evitar el deterioro y alargar la vida útil del equipo.

Se recomienda una estructura con su respectiva cimentación en el lugar donde se vaya a instalar el equipo en la cual se colocará un tecele que permita levantar la tapa y que sirva como base para la instalación del motorreductor.

Para mantener un ambiente controlado durante las pruebas de laboratorio se recomienda la implementación de equipos de lectura de datos adicionales como medidores de acidez. Para aquello se han adaptado dos entradas de 3/8 de pulgada en la tapa superior que por ahora permanecen selladas.

Al no conocer la cantidad de biogás producida por los diferentes cultivos es recomendable la instalación de una válvula de alivio de presión, para evitar que la presión interna supere los límites establecidos.

Se recomienda realizar los siguientes estudios posteriores como complemento a este trabajo:

- Eficiencia energética
- Automatización de componentes, con su manual de operación.
- Estudio de generación de biogás y optimización de diferentes tipos de biomasa

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) API 650 *Diseño, Montaje y Construcción de Tanques Soldados de Acero*.
- 2) ASTM A36 *Standard Specification for Carbon Structural Steel*.
- 3) Fidel Cunill Monserrat Iborra, Javier Tejero (2010). *Reactores Químicos Apuntes*. Univeritat de Barcelona.
- 4) Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2010). *Guía sobre el biogás desde la producción hasta el uso*. Editorial FNR, ABT. Öffentlichkeitsarbeit. 5ta Edición, Gülzow.
- 5) Incropera, F. and Incropera, F. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer*. Hoboken, NJ: John Wiley.
- 6) McCabe, W. and Smith, J. (1976). *Unit operations of chemical engineering*. New York: McGraw-Hill.
- 7) Profesora María Teresa Varnero Moreno (2011). *Manual de Biogás*. Editado por: Proyecto Chi/00/g32 Ministerio de Energía de Chile.
- 8) UL-98 *Enclosed and Dead-Front Switches*.
- 9) Xavier Martí Herrero (2008). *Biodigestores Familiares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*. GTZ-Bolivia.
- 10) Yanaris Lorenzo Acosta, María Cristina Obaya Abreu (2005). *La Digestión Anaerobia: Aspectos Teóricos PARTE 1*. Revista ICIDCA Vol. XXIX Núm. 1. Ciudad de la Abana, Cuba.
- 11) Warren M. Rohsenow, James P. Harnett, Young I. Cho (Eds). *Handbook of Heat Transfer*. McGraw-Hill 3era Ed.

# CALCULOS

## A1. Cálculos para coeficiente convectivo

### a) Propiedades a temperatura de película

$$T_f = \frac{(T_s - T_\infty)}{2} \text{ [}^\circ\text{K]} \quad (1)$$

$T_f$  = Temperatura de película

$T_s$  = 55°C

$T_\infty$  = 25°C

$$T_f = \frac{(55 - 25)}{2} = 315 \text{ K}$$

**Tabla A.1 Propiedades de agua saturada INCROPERA cuarta edición.**

Propiedades a 315 K					
Densidad [ $\frac{Kg}{m^3}$ ] $\rho$	Coficiente conductivo [ $\frac{W}{mK}$ ] $k$	Viscosidad Cinemática [ $\frac{Ns}{m^2}$ ] $\mu$	Coficiente de expansión térmica [ $\frac{1}{K}$ ] $\beta$	Numero de Prandtl Pr	coeficiente de acomodación térmica [ $\frac{N}{m}$ ] $\alpha$
998	$634 \times 10^{-3}$	$631 \times 10^{-6}$	$400.4 \times 10^{-3}$	4.16	$69.2 \times 10^{-3}$

### b) Viscosidad dinámica

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$v$  = Viscosidad dinámica [ $\frac{m^2}{s}$ ]

$\mu$  = Viscosidad cinemática [ $\frac{Ns}{m^2}$ ]

$\rho$  = Densidad del agua [ $m^3$ ]

$$v = \frac{631 \times 10^{-6}}{998} = 0.6322 \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

### c) Numero de Rayleigh

$$Ra = \frac{g\beta\Delta TD^3}{\nu\alpha}$$

$Ra$ =Numero de Rayleigh

$g$ = Gravedad [ $\frac{m}{s^2}$ ]

$\beta$ = Coeficiente de expansión térmica [ $\frac{1}{K}$ ]

$\Delta T$ = Variación de temperatura ( $T_s - T_\infty$ ) °C

$T_s$ =Temperatura de superficie °C

$T_\infty$ =Temperatura de medio circundante °C

$D$ = Diámetro [m]

$\nu$ = Viscosidad dinámica [ $\frac{m^2}{s}$ ]

$\alpha$ =coeficiente de acomodación térmica [ $\frac{N}{m}$ ]

$$Ra = \frac{9.8(400.4 \times 10^{-3})(30)(0.78)^3}{0.6322(69.2 \times 10^{-3})} = 1.277 \times 10^6$$

$$Ra = 1.277 \times 10^6$$

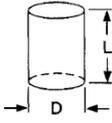
### d) Numero de Nusselt

Fórmulas y tablas para el cálculo del valor de Nusselt son tomadas del folleto Handbook of Heat Transfer Warren M. Rohsenow, James P. Hartnett Young I. cho MCGRAWHILL THIRD EDITION.

Los siguientes valores obtiene de la tabla mostrada a continuación según la relación longitud sobre diámetro del biorreactor

$$\frac{L}{D} = \frac{0.735}{0.691} = 1.06 \approx 1$$

**Tabla A.2 Parámetros geométricos para valor de Nusselt**

Geometry and geometric parameters	$Nu_{COND}$	$G$	$n$	$C_i$				$m$	Data		
				Pr =							
				0.71	6.0	100	2000				
Short vertical circular cylinder—square ends											
	$Nu = \bar{h}D/k$			$L/D$							
	$Ra = \frac{g\beta\Delta TD^3}{\nu\alpha}$										
	$A_s = \frac{\pi D^2}{2} \left(1 + \frac{2L}{D}\right)$										
		0.0	2.55	0.670	1.07	0.070	0.070	0.073	0.075	10	NA
		0.1	2.44	0.730	1.06	0.076	0.077	0.076	0.073	15	See Table 4.3b.
		0.5	1.93	0.792	1.07	0.087	0.091	0.082	0.069	10	NA
	1.0	1.59	0.839	1.11	0.092	0.098	0.085	0.068	10	See Table 4.3b.	
	2.0	1.26	0.733	1.07	0.096	1.04	0.087	0.066	10	NA	
	4.0	0.99	0.657	1.07	0.099	1.08	0.089	0.065	10	NA	

### Nusselt Turbulento

$$Nu_t = \bar{C}_t Ra^{1/3}$$

$Nu_t$  = Numero de Nusselt para flujo interno turbulento

$\bar{C}_t$  = aproximación universal en función al Numero de Prandtl para flujo turbulento dada por Churchill y Usagi [54]

$$Nu_t = 0.096(1.227 \times 10^6)^{1/3}$$

$$Nu_t = 10.41$$

Nusselt de conducción (valores obtenidos de tabla 4.3a)

$Nu_{cond}$  = Nusselt de conducción constante según forma geométrica del Número de Nusselt

$n$  = parámetro experimental según forma geométrica

$$Nu_{cond} = 1.59$$

$$n = 1.11$$

Número de Nusselt para capa laminar fina

$$Nu^T = G\bar{C}_l Ra^{1/4}$$

$Nu^T$  = Número de Nusselt para capa laminar fina

$G$  = relación de integrales valor constante depende del cuerpo geométrico o de las frontera (limite térmico).

$\bar{C}_l$  = aproximación universal en función al Numero de Prandtl para flujo laminar dada por Churchill y Usagi [54]

$$\bar{C}_l = \frac{0.671}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

Pr = Numero de Prandtl

$$\bar{C}_l = \frac{0.671}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{4.16}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$\bar{C}_l = 0.5969$$

$$Nu^T = 0.839(0.5969)(1.277 \times 10^6)^{1/4}$$

$$Nu^T = 0.8332$$

### Nusselt Laminar

$$Nu_\ell = [(Nu_{cond})^n + (Nu^T)^n]^{1/n}$$

$Nu_\ell$  = Numero de Nusselt para flujo interno laminar desarrollado

$$Nu_\ell = (1.59)^{1.11} + (0.8332)^{1.11}]^{1/1.11}$$

$$Nu_\ell = 2.2742$$

## Número Nusselt

$$Nu = [Nu_t^m + Nu_\ell^m]^{\frac{1}{m}}$$

m = parámetro experimental según forma geométrica

$$Nu = [10.41^{10} + 2.2742^{10}]^{\frac{1}{10}}$$

$$Nu = 10.41$$

### e) Coeficiente convectivo de Biomasa

$$h = \frac{Nuk}{D}$$

$h$  = Coeficiente convectivo  $[\frac{W}{m^2K}]$

$Nu$  = Numero de Nusselt

$k$  = Coeficiente de conducción  $[\frac{W}{mK}]$

$D$  = Diámetro [m]

$$h = \frac{10.41(0.634)}{0.78}$$

$$h = 8.46 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

## A2. Balance de energía (calor requerido)

### a) volumen del recipiente

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H [m^3]$$

V= Volumen total de Recipiente [ $m^3$ ]

D= Diámetro del recipiente [m]

H = Altura del recipiente [m]

$$V = \frac{\pi 0.78^2}{4} 0.98 [m^3]$$

$$V = 0.468 [m^3]$$

## b) Masa

$$m = V \times 0.75 \times \rho [kg]$$

$\rho$ = densidad del agua [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$$m = 0.468 \times 0.75 \times 998 [kg]$$

$$m = 350 [kg]$$

## c) flujo másico

Para el cálculo del flujo másico se asume un tiempo de calentamiento 24h

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m} = \text{Flujo masico} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$m = \text{masa [kg]}$$

$$t = \text{tiempo [s]}$$

$$\dot{m} = \frac{350}{3600} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m} = 4.051 \times 10^{-3} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

#### d) Balance de energía del sistema

$$Q_{entra} = Q_{sale}$$

$$Q_{requerido} + Q_{in} = Q_{out} + Q_{gen} + Q_{perdidas}$$

La configuración del sistema implementado es de alimentación discontinua por lo tanto el calor que entra  $Q_{in}$  y el calor que sale  $Q_{out}$  son despreciables por lo cual el balance de energía queda de la siguiente forma

$$Q_{requerido} = Q_{gen} + Q_{perdidas}$$

#### A2.1 Calor generado

$$Q_{gen} = \dot{m}Cp\Delta T \text{ [w]}$$

$\dot{m}$ =Flujo masico

$Cp$ =Calor especifico

$\Delta T$ =Diferencia de temperatura

$$Q_{gen} = (4.05 \times 10^{-3})(4178)(55 - 25)$$

$$Q_{gen} = 507.75 \text{ [w]}$$

## A2.2 Calor de pérdidas

$$Q_{perdidas} = Q_{perdidas1} + Q_{perdidas2}$$

$Q_{perdidas1}$ = calor de pérdidas por paredes del cilindro contenedor y base

$Q_{perdidas2}$ = calor de perdidas en la tapa

$$Q_{perdidas1} = U_1 A_{Tr1} \Delta T \text{ [w]}$$

$U$ =coeficiente global de transferencia de calor [ $\frac{w}{m^2 \cdot K}$ ]

$A_{Tr1}$ = área de transferencia del recipiente [ $m^2$  ]

$\Delta T$ = diferencia de temperatura

### A2.3 Coeficiente global de transferencia de calor

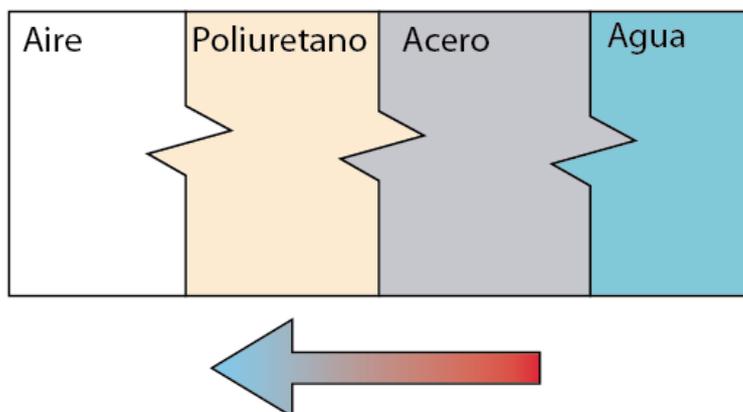


Figura A.1: Esquema de resistencias térmicas de la parte aislada.

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_{aire}} + \frac{e_{poliuretano}}{k_{poliuretano}} + \frac{e_{acero}}{k_{acero}} + \frac{1}{h_{agua}}} \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$e_{poliuretano}$  = espesor del poliuretano

$e_{acero}$  = espesor del acero

$h_{aire}$  = coeficiente de convección del aire

$k_{poliuretano}$  = coeficiente de conducción del poliuretano

$k_{acero}$  = coeficiente de conducción del acero

$h_{agua}$  = coeficiente de convección del agua

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{0.05}{0.02} + \frac{0.006}{60.5} + \frac{1}{8.46}} \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$$U_1 = 0.3548 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

## Área de transferencia 1

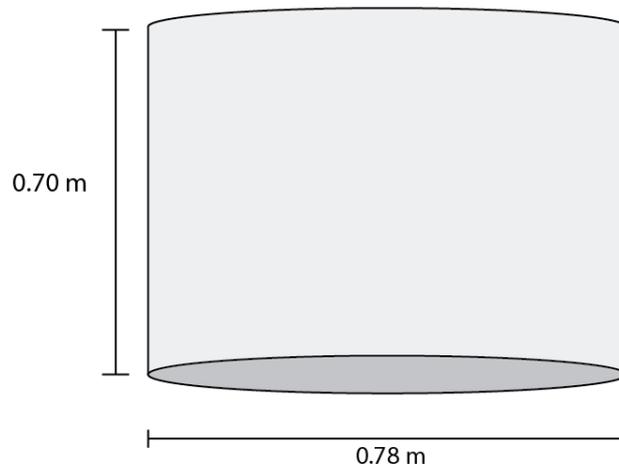


Figura A.2: Área aislada del tanque.

$$A_{Tr1} = \frac{\pi D^2}{4} + \pi DH \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{Tr1} = \frac{\pi(0.78)^2}{4} + \pi(0.78)(0.70)$$

$$A_{Tr1} = 2.19 \text{ [m}^2\text{]}$$

## Calor de pérdidas 1

$$Q_{perdidas1} = U_1 A_{Tr1} \Delta T \text{ [w]}$$

$$Q_{perdidas1} = (0.3548)(2.16)(30) \text{ [w]}$$

$$Q_{perdidas1} = 23.31 \text{ [w]}$$

## A2.4 Coeficiente global de transferencia 2

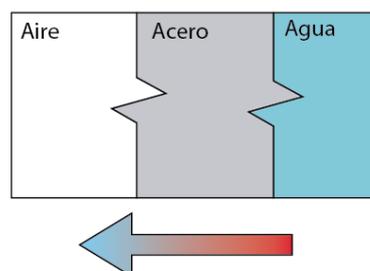


Figura A.3: Esquema de resistencias térmicas de la parte sin aislante.

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_{aire}} + \frac{e_{acero}}{k_{acero}} + \frac{1}{h_{agua}}} \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$e_{acero}$  = espesor del acero

$h_{aire}$  = coeficiente de convección del aire

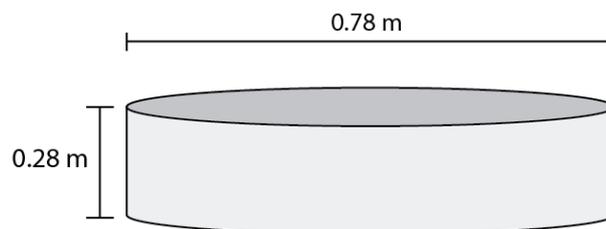
$k_{acero}$  = coeficiente de conducción del acero

$h_{agua}$  = coeficiente de convección del agua

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{0.006}{60.5} + \frac{1}{8.46}} \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$$U_2 = 3.1416 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

### Área de transferencia 2



**Figura A.4: Área sin aislante del tanque.**

$$A_{Tr2} = \frac{\pi D^2}{4} + \pi DH \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{Tr2} = \frac{\pi(0.78)^2}{4} + \pi(0.78)(0.28)$$

$$A_{Tr2} = 1.16 \text{ [m}^2\text{]}$$

### Calor de pérdidas 2

$$Q_{perdidas2} = U_2 A_{Tr2} \Delta T \text{ [w]}$$

$$Q_{perdidas2} = (3.1416)(1.16)(30)[w]$$

$$Q_{perdidas2} = 109.33 [w]$$

### Calor requerido por el sistema

$$Q_{requerido} = Q_{gen} + Q_{perdidas}[w]$$

$$Q_{requerido} = 507.75 + 23.31 + 109.33$$

$$Q_{requerido} = 640.39[w]$$

### A3 Cálculo del intercambiador de calor

#### a) Flujo de másico de agua del intercambiador

$$Q_{requerido} = \dot{m}Cp\Delta T [w]$$

$$\dot{m} = \frac{Q_{requerido}}{Cp\Delta T} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

**Tabla A.3. Propiedades del agua del intercambiador a 335 K  
INCROPERA CUARTA EDICION Tabla A6 pág. 846**

Propiedades del agua a 335 K		
Calor específico [ $\frac{J}{kgK}$ ] Cp	Coficiente conductivo [ $\frac{W}{mK}$ ] k	Viscosidad Cinemática [ $\frac{Ns}{m^2}$ ] $\mu$
4186	$656 \times 10^{-3}$	$453 \times 10^{-6}$

$$\dot{m} = \frac{Q_{requerido}}{Cp\Delta T} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$\Delta T = 70 - 55^\circ k$$

$$\dot{m} = \frac{640.39}{4186(15)} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$\dot{m} = 10.2 \times 10^{-3} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

Selección de tubería comercias de 1/2"  $D_i = 15.5mm$   $e = 1.6mm$

**Tabla A.4 Propiedades de manguera de PE de alta densidad.  
Tubos Rival.**



Tubería de Polietileno Alta densidad Uso en Presión diámetro interior controlado bajo norma ASTM D-2239.

Diámetro Nominal		Tipo de PE	Diámetro Interior		Espesor		Presión de Trabajo			Longitud rollo	peso/m
			min	max	e.min	e.max					
pulgadas	mm		mm	mm	mm	mm	PSI	MPa	kgf/cm2	m	g.
1/2	18.75	PEAD	15.5	16.0	1.4	1.6	120	0.83	8.45	100-200	81
3/4	26	PEAD	19.2	19.5	3.05	3.2	180	1.24	12.67	100-200	217
1	31.6	PEAD	24.8	25.2	3.05	3.2	150	1.03	10.56	100-200	274

## b) Numero de Reynolds

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_i \mu}$$

$\dot{m}$ =flujo másico del agua [kg/m]

$D_i$ =Diámetro interno de la tubería [m]

$\mu$ =viscosidad cinemática  $\left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$

$$Re = \frac{4(10.2 \times 10^{-3})}{\pi(0.0155)(453 \times 10^{-6})}$$

$$Re = 1849.61 \text{ Flujo laminar}$$

**c) Coeficiente convectivo interno del serpentín**

Se asume un flujo completamente desarrollado al interior del serpentín por lo que se utiliza la fórmula de Nusselt para flujo interno completamente desarrollados (INCROPERA, año tal).

$$Nu = \frac{hD_i}{k} = 4.36$$

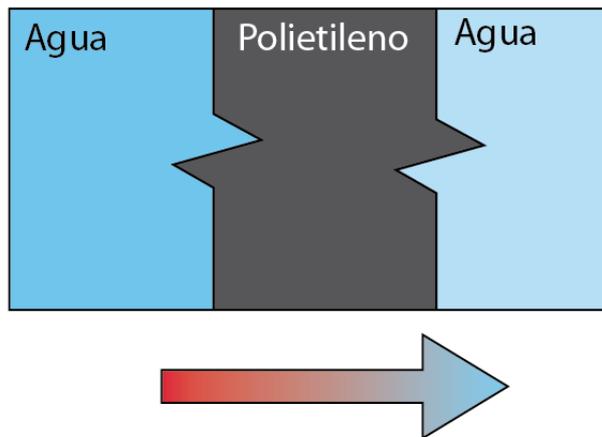
$$\frac{hD_i}{k} = 4.36$$

$$h = 4.36 \frac{k}{D_i}$$

$$h = 4.36 \frac{(0.656)}{0.0155}$$

$$h = 184.53 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

**d) Coeficiente global de temperatura del serpentín**



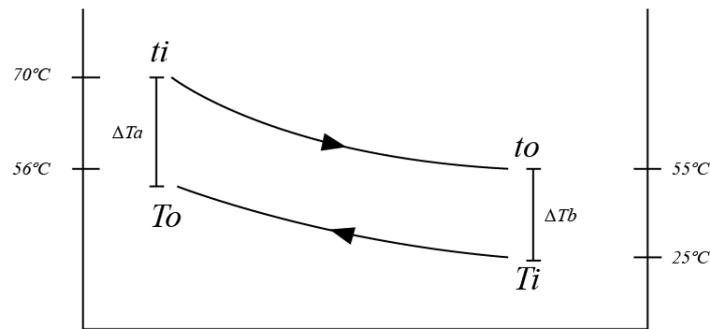
**Figura A.5: Esquema de resistencias térmicas desde el serpentín hacia el cultivo.**

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{h_{interno}} + \frac{e_{tuberia\ polietileno}}{k_{tuberia\ polietileno}} + \frac{1}{h_{externo}}} \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{184.53} + \frac{0.0016}{0.45} + \frac{1}{8.46}} \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

### e) Intercambiador de calor tubo-coraza

Se asume un intercambiador de calor de flujo cruzado y pasos múltiples.



$t_i=70^\circ\text{C}$  Temperatura entrada tubo

$t_o=56^\circ\text{C}$  Temperatura de salida tubo (asumido)

$T_i=25^\circ\text{C}$  Temperatura de entrada coraza

$T_o=55^\circ\text{C}$  Temperatura de salida coraza

#### Diferencia de temperatura caliente

$$\Delta T_a = t_i - T_o$$

$$\Delta T_a = 70 - 55$$

$$\Delta T_a = 15^\circ\text{C}$$

$\Delta T_a =$  Diferencia de temperatura caliente

#### Diferencia de temperatura fría

$$\Delta T_b = t_o - T_i$$

$$\Delta T_b = 56 - 25$$

$$\Delta T_b = 31^\circ\text{C}$$

$\Delta T_b = \text{Diferencia de temperatura fria}$

### **Diferencia media de temperatura**

### **Diferencia promedio efectiva de temperaturas**

$$\overline{\Delta T} = MLDT \times F$$

$F = \text{Factor de corrección}$

$MLDT = \text{Media logaritmica de la diferencia de temperatura total}$

$$MLDT = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln\left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}\right)}$$

$$MLDT = \frac{31 - 15}{\ln\left(\frac{31}{15}\right)}$$

$$MLDT = 22.04^\circ\text{C}$$

### **Factor de corrección**

Parámetros P y R

$$R = \frac{T_i - T_o}{t_o - t_i}$$

$$R = \frac{25 - 55}{56 - 70}$$

$$R = 2.14$$

$$R = \frac{t_o - t_i}{T_i - t_i}$$

$$P = \frac{56 - 70}{25 - 70}$$

$$P = 0.31$$

Figura 2. Factor de corrección para un intercambiador de calor de tubo y coraza. Incropera

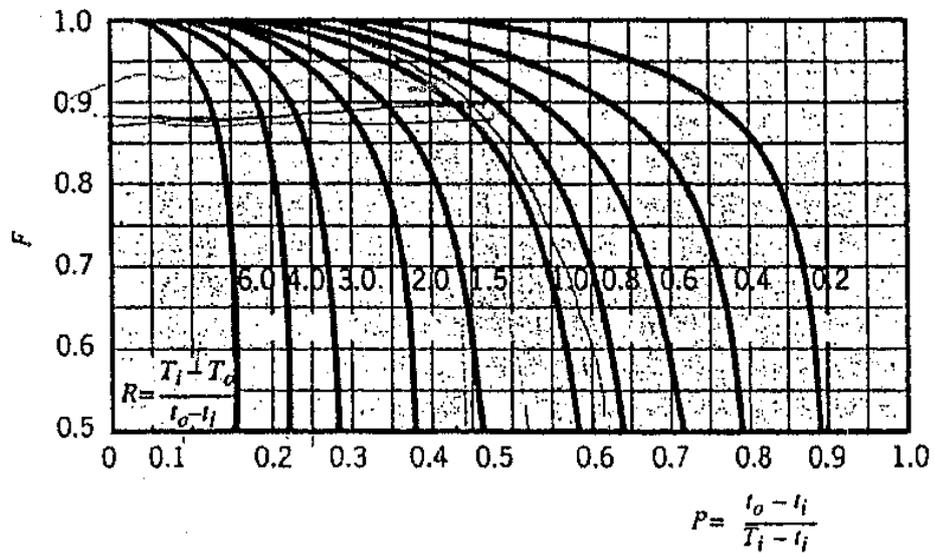
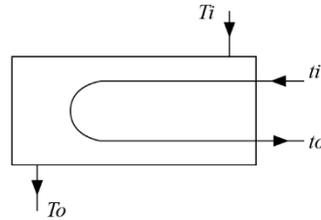


Figura A.6. Factor de corrección para intercambiadores de tubo y coraza. INCROPERA CUARTA EDICIÓN.

FACTOR DE CORRECCION

$$F \approx 0.87$$

f) Determinación de la longitud de la tubería del serpentín.

Con el calor requerido se procede a calcular el área, valor que se utilizara para calcular la longitud de la tubería a utilizar para el serpentín.

$$Q_{requerido} = UA\bar{\Delta T}$$

$$A = \frac{Q_{requerido}}{U \times F \times MLDT}$$

$$A = \frac{640.39}{(7.86)(0.87)(22.04)}$$

$$A = 4.25 [m^2]$$

$$A = L \pi D_o$$

$L$  = Longitud de tubería[m]

$D_o$  = diámetro externo tubería[m]

$$D_o = D_i + 2e$$

$D_i$  = diámetro interno [m]

$e$  = Espesor de tubería [m]

$$D_o = 15.5 + 2(1.6)$$

$$D_o = 18.7 [mm] = 0.0187 [m]$$

$$L = \frac{A}{\pi D_o}$$

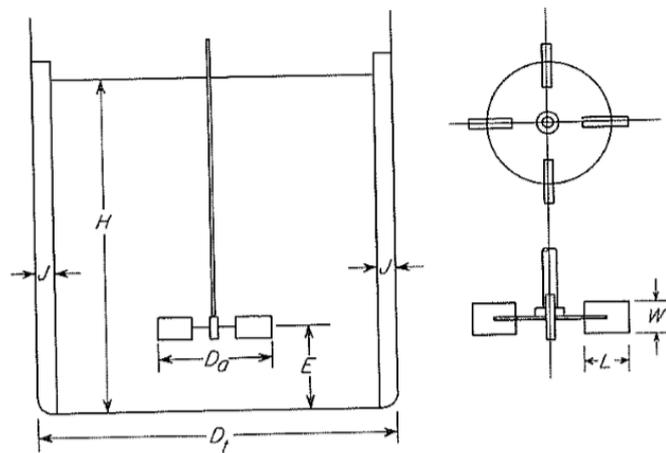
$$L = \frac{4.25}{\pi(0.0187)}$$

$$L = 72.34 [m^2] \approx 73 [m]$$

#### A4. Diseño del agitador

Los agitadores de impellers están divididos en dos clases: los propellers y las turbinas. Para bajas velocidades, como el caso de nuestro biorreactor, se considera un agitador tipo turbina con un arreglo de disco con 6 álabes. Este tipo de agitador es uno de los más utilizados por su fácil de construcción, además los textos contienen muchos datos sobre este tipo de agitador que son necesarios para el diseño desde cero de un sistema de agitación.

Las dimensiones del tanque definen el “problema de agitación”. Con las dimensiones conocidas previamente del tanque, el primer paso es calcular las medidas del sistema.



**Figura A.7: Medidas del agitador. Unit Operations of Chemical Engineering. 5ta Edición.**

Proporciones típicas de un agitador de 6 álabes:

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{E}{Dt} = \frac{1}{4}$$

Conociendo que:

$$Dt = 0.78 \text{ m}$$

Se determina los valores de:

$$W = 0.052 \text{ m}$$

$$L = 0.065 \text{ m}$$

$$Da = 0.26 \text{ m}$$

$$J = 0.065 \text{ m}$$

$$E = 0.195 \text{ m}$$

Para calcular el diámetro del eje se necesita la velocidad rotacional, la cual depende de las propiedades de los componentes de la mezcla.

Para sólidos en suspensión en un fluido se tiene la siguiente correlación:

$$n_c D a g^{0.85} = S v^{0.1} D p^{0.2} \left( g \frac{\Delta \rho}{\rho} \right)^{0.45} B^{0.13}$$

Donde:

$n_c$ : velocidad crítica

$D a g$ : diámetro de agitador

$s$ : factor de forma

$v$ : viscosidad dinámica del fluido

$D p$ : diámetro promedio de partícula

$\Delta \rho$ : diferencia de densidades

$\rho$ : densidad del fluido

$B$ : relación de masas

El factor de forma es obtenido de la tabla 9.4 de Unit Operations of Chemical Engineering. 5ta Edición.

**Tabla A.5: Factor de forma para velocidad crítica. Unit Operations of Chemical Engineering. 5ta Edición.**

**TABLE 9.4  
Shape factor  $S$  in Eq. (9.36) for critical stirrer speed**

Impeller type	$D_t/D_a$	$D_t/E$	$S$
Six-blade turbine	2	4	4.1
$D_a/W = 5$	3	4	7.5
$N_p = 6.2$	4	4	11.5
Two-blade paddle	2	4	4.8
$D_a/W = 4$	3	4	8
$N_p = 2.5$	4	4	12.5
Three-blade propeller	3	4	6.5
$N_p = 0.5$	4	4	8.5
	4	2.5	9.5

Donde:

$$s = 7.5$$

**Propiedades del agua a 330 K:**

$$\mu = 489 \times 10^{-6} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$\nu = 4.89 \times 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

$$\rho_a = 998 \frac{kg}{m^3}$$

**Propiedades de la biomasa:**

$$D_p = 0.0005 \text{ m}$$

$$\rho_b = 200 \frac{kg}{m^3}$$

**Relación de masas:**

$$B = 100x \frac{mbio}{ma}$$

El 90% del volumen total de la mezcla es agua.

El volumen total de la mezcla es:  $0.351 \text{ m}^3$

$$\text{Vol biomasa: } 0.351 \times 0.1 = 0.0351 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol agua: } 0.351 \times 0.9 = 0.3159 \text{ m}^3$$

**Masa biomasa:**

$$m_{bio} = \text{vol bio} \times \rho_b$$

$$m_{bio} = 0.0351 \times 200$$

$$\mathbf{m_{bio} = 7.02 \text{ kg}}$$

**Masa agua:**

$$m_a = \text{vol agua} \times \rho_a$$

$$m_a = 0.3159 \times 998$$

$$\mathbf{m_a = 315.27 \text{ kg}}$$

$$B = 100 \times \frac{7.02 \text{ kg}}{315.27 \text{ kg}}$$

$$\mathbf{B = 2.2266}$$

**Velocidad crítica:**

De la ecuación

$$n_c Da^{0.85} = Sv^{0.1} Dp^{0.2} \left( g \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)^{0.45} B^{0.13}$$

Se despeja

$$n_c = \frac{Sv^{0.1} Dp^{0.2} \left( g \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)^{0.45} B^{0.13}}{Da^{0.85}}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$n_c = \frac{Sv^{0.1} Dp^{0.2} \left( g \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)^{0.45} B^{0.13}}{Da^{0.85}}$$

Reemplazando:

$$n_c = \frac{(7.5)(4.89 \times 10^{-7} \frac{m^2}{s})^{0.1} (0.0005 m)^{0.2} \left(9.8 \times \frac{798}{998}\right)^{0.45} (2.2266)^{0.13}}{(0.26 m)^{0.85}}$$

$$n_c = 3.37 \frac{rad}{s}$$

#### A4.1 Cálculo de la potencia

La potencia del agitador se define por la siguiente ecuación:

$$P = n^3 \cdot Da^5 \cdot \rho \cdot Np$$

Donde Np se define como factor de poder y es tomado de la siguiente tabla:

Type of impeller	$K_L$	$K_T$
Propeller, three blades		
Pitch 1.0 <sup>40</sup>	41	0.32
Pitch 1.5 <sup>35</sup>	55	0.87
Turbine		
Six-blade disk <sup>35</sup> ( $S_3 = 0.25, S_4 = 0.2$ )	65	5.75
Six curved blades <sup>40</sup> ( $S_4 = 0.2$ )	70	4.80
Six pitched blades <sup>39</sup> ( $45^\circ, S_4 = 0.2$ )	—	1.63
Four pitched blades <sup>35</sup> ( $45^\circ, S_4 = 0.2$ )	44.5	1.27
Flat paddle, two blades <sup>40</sup> ( $S_4 = 0.2$ )	36.5	1.70
Anchor <sup>35</sup>	300	0.35

Figura A.8: Valores de constantes  $k_l$  y  $k_t$  para diferentes tipos de impulsor. Unit Operations of Chemical Engineering. 5ta Edición.

Para conocer Np primero se debe calcular el número de Reynolds.

$$Re = \frac{Da^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{(0.26 m)^2 \cdot \left(3.37 \frac{rad}{s}\right) \cdot \left(998 \frac{kg}{m^3}\right)}{489 \times 10^{-6} \frac{N \cdot s}{m^2}}$$

$$Re = 4.65 \times 10^5$$

Para valores de Reynolds mayores a 10000 se tiene que  $Np = k_t$ . Los valores de  $K_t$  se definen en la siguiente tabla:

De aquí se obtiene que:

$$Np = 5.75$$

Con este y los otros valores conocidos se calcula la potencia requerida:

$$P = \left(3.37 \frac{rad}{s}\right)^3 \cdot (0.26 m)^5 \cdot (998 \frac{kg}{m^3}) \cdot (5.75)$$

$$P = 261 W$$

Esta potencia resulta ser mayor que la potencia media que un ser humano promedio puede aplicar. Por lo tanto se requiere un motor con reductor para darle el movimiento requerido al agitador.

Si dividimos la potencia calculada para la eficiencia de un reductor y la eficiencia de un motor eléctrico da como resultado la potencia de diseño.

$$PD = \frac{P}{\eta_m \cdot \eta_r}$$

$$PD = \frac{261}{0.87 \times 0.99}$$

$$PD = 303 W$$

Con esta potencia y la velocidad angular en rpm se selecciona el motor y el reductor necesarios para la operación.

$$PD = 303 W = 0.4 Hp$$

$$n = 3,37 \frac{rad}{s} = 32 rpm$$

#### A4.2 Cálculo de diámetro del eje

Se determina que el eje del agitador se encuentra solamente sometido a torsión y este caso el esfuerzo cortante por torsión es casi uniforme.

Se utiliza la siguiente ecuación para el diseño del eje:

$$De = \left[ \frac{32\eta}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt.M}{Sn'} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

No se necesita factor de concentración de esfuerzos en el término del esfuerzo cortante por torsión, ya que se supone uniforme y por tanto las concentraciones tienen poco efecto sobre el potencial de falla.

En el caso del eje del agitador no existen fuerzas transversales aplicadas que causen flexión, por lo tanto la ecuación se reduce a:

$$De = \left[ \frac{32\eta}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Conociendo la potencia requerida y la velocidad rotacional se puede calcular el torque:

$$T = \frac{P}{n}$$

$$T = \frac{261 \text{ W}}{3.37 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T = 77.45 \text{ Nm}$$

Se utiliza un factor de seguridad de 2 para diseños típicos de ejes donde existe confianza promedio en los datos de resistencia del material y las cargas.

Como material se escoge acero inoxidable AISI 304 que tiene  $Sy=241$  Mpa.

Reemplazando en la ecuación del diámetro del eje tenemos:

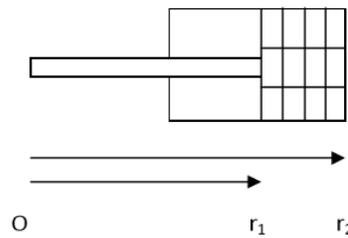
$$De = \left[ \frac{32 \times 2}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[ \frac{77.45}{241000000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$De = 18 \text{ mm}$$

Por facilidad de construcción se toma un diámetro de eje de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, el cual corresponde al diámetro del sello mecánico disponible en el mercado.

#### A4.3 Cálculo del espesor de las aspas

El cálculo del espesor de las aspas se realiza de la siguiente forma:



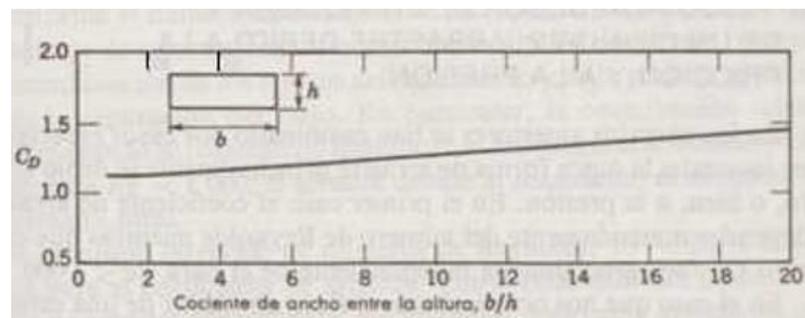
**Figura A.9. Aspa de la turbina de disco de aspas planas.**

Se considera la fuerza que ejerce el fluido sobre la parte rayada del aspa. Esta fuerza se obtiene de la siguiente fórmula:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A$$

Donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre y es una función de las dimensiones del aspa,  $V$  es la velocidad lineal del aspa y  $A$  es el área rayada del aspa.

$C_D$  se determina a partir de la relación entre el ancho y la altura del aspa, se utiliza la siguiente figura:



**Figura A.10. Coeficiente de arrastre para placas planas.**

**Introducción a la Mecánica de Fluidos. Mc Graw Hill. 2da Edición.**

Se tiene que:

$$\frac{b}{h} = \frac{65}{52} = 1.25$$

Y de la gráfica se obtiene:

$$C_D = 1.2$$

Como el impulsor gira a una velocidad angular constante de 3.37 rad/s, la velocidad lineal de un diferencial de área varía con el radio, entonces se replantea la ecuación en función del radio de la siguiente manera:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2) (0.052r)$$

Multiplicando ambos lados de la ecuación por  $dr$  y se integra entre los límites  $r_1$  y  $r_2$  se obtiene el valor del momento con respecto al punto O.

$$\int_{r_1}^{r_2} F_D dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2) (0.052r) dr$$

$$M_o = \frac{1}{2} C_D \rho \omega^2 0.052 \int_{0.15375}^{0.205} r^3 dr$$

$$\mathbf{M_o = 0.017 Nm}$$

Se reemplaza este momento en la ecuación de flexión, considerando que la resistencia a la fluencia del acero inoxidable AISI 304 es  $S_y = 241$  MPa y tomando en cuenta un factor de seguridad  $n=3$ .

$$S_y = \frac{n \cdot M_o \cdot y}{I}$$

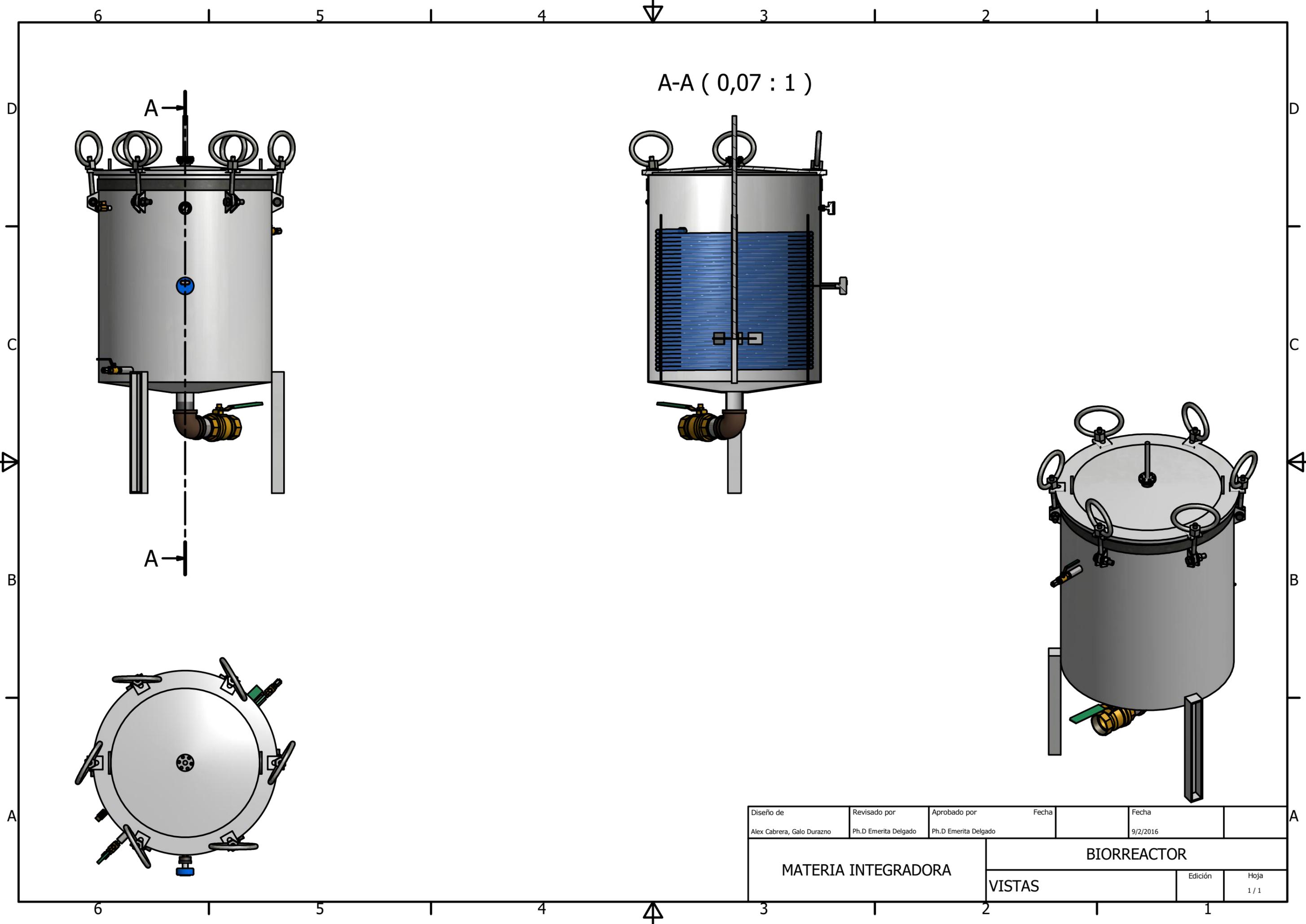
$$S_y = \frac{n \cdot Mo \cdot \frac{e}{2}}{\frac{W e^3}{12}}$$

$$e = \sqrt{\frac{6 \cdot n \cdot Mo}{S_y \cdot W}}$$

$$e = \sqrt{\frac{6 \times 3 \times 0.017 \text{ Nm}}{241 \times 10^6 \text{ Pa} \times 0.052 \text{ m}}}$$

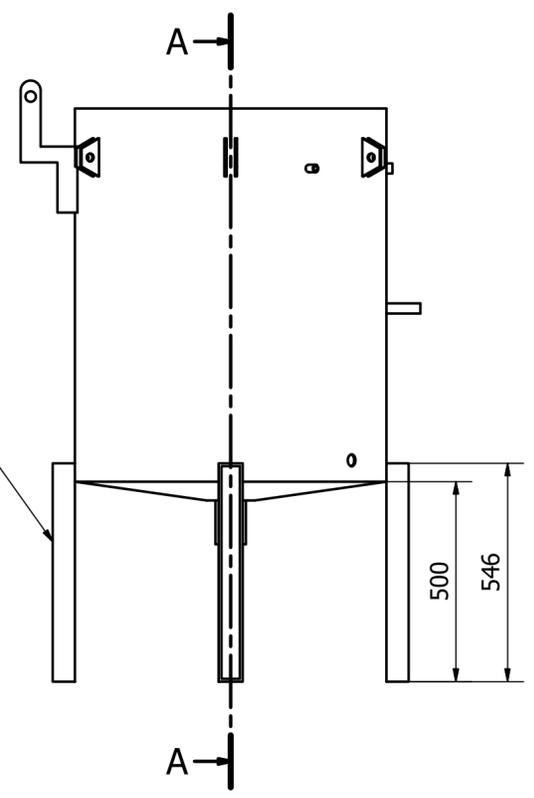
$$\mathbf{e = 0.00015 \text{ m} \approx 2 \text{ mm}}$$

# PLANOS

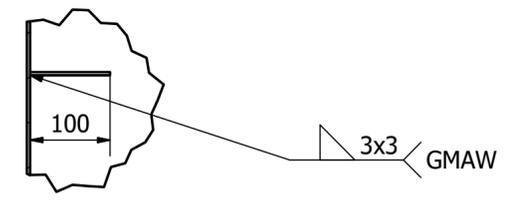


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
Alex Cabrera, Galo Durazno	Ph.D Emerita Delgado	Ph.D Emerita Delgado		9/2/2016	
MATERIA INTEGRADORA			BIORREACTOR		
			VISTAS	Edición	Hoja
					1 / 1

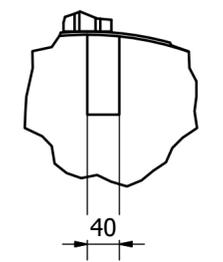
Perfil UPN 120,  
Hierro Negro.



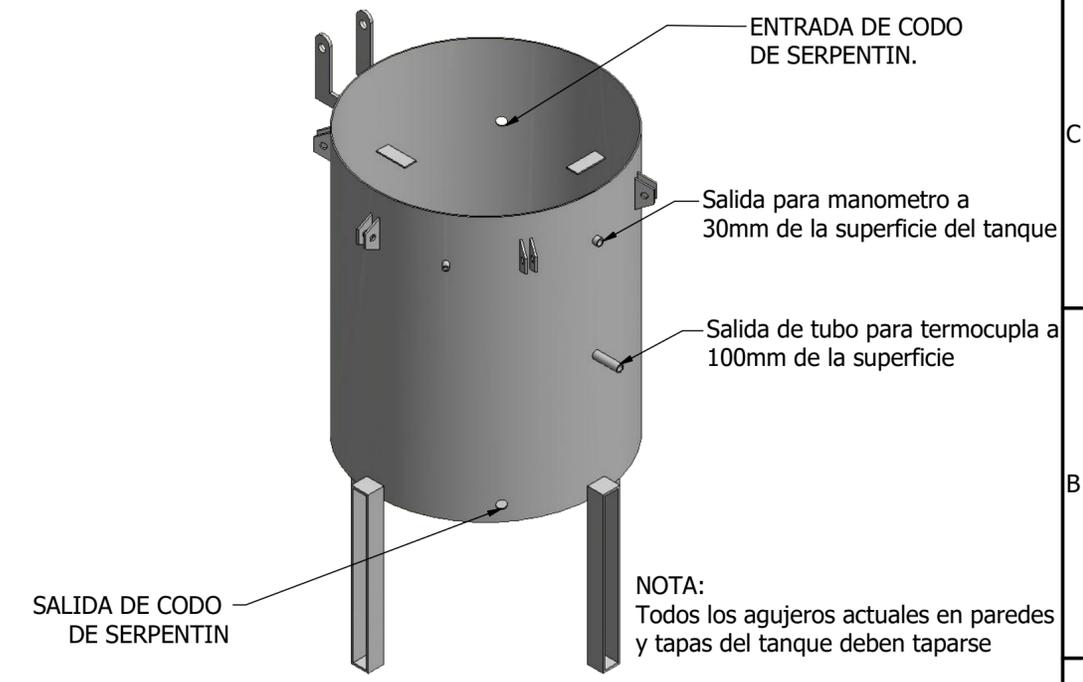
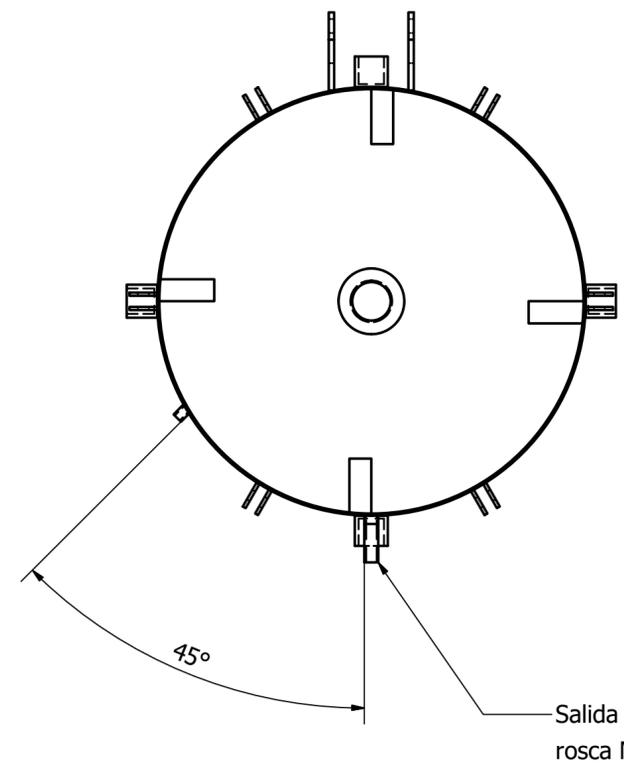
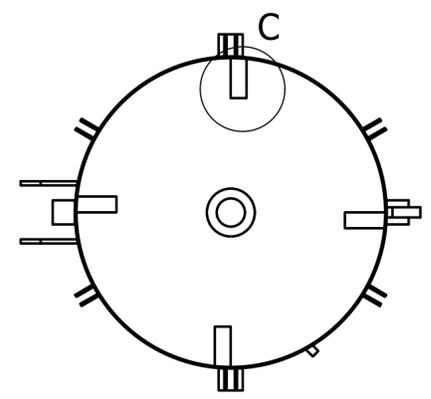
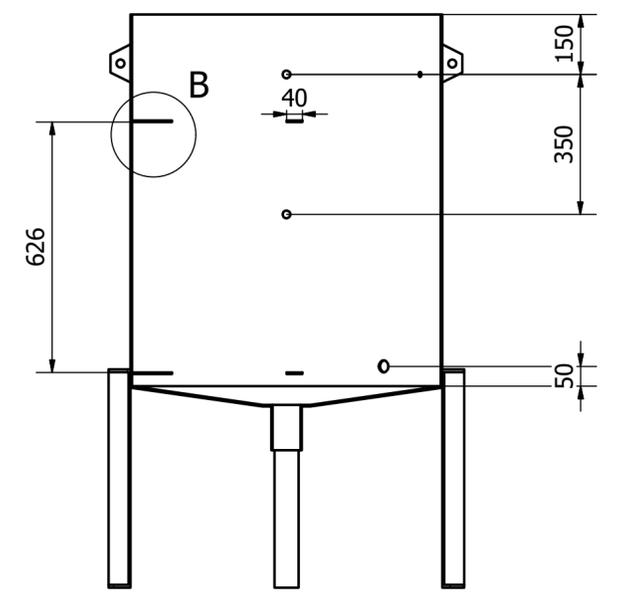
B ( 0,16 : 1 )



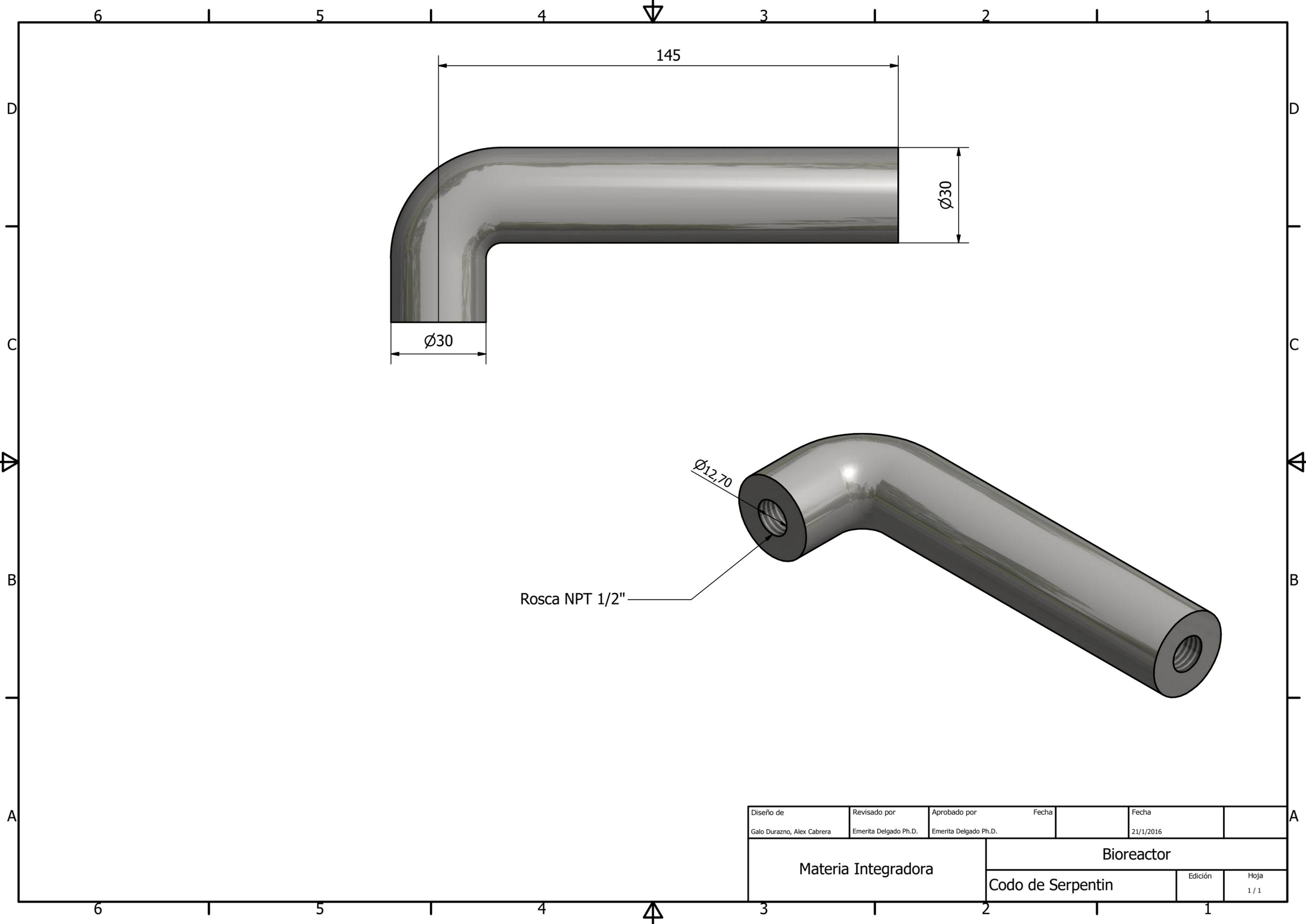
C ( 0,16 : 1 )



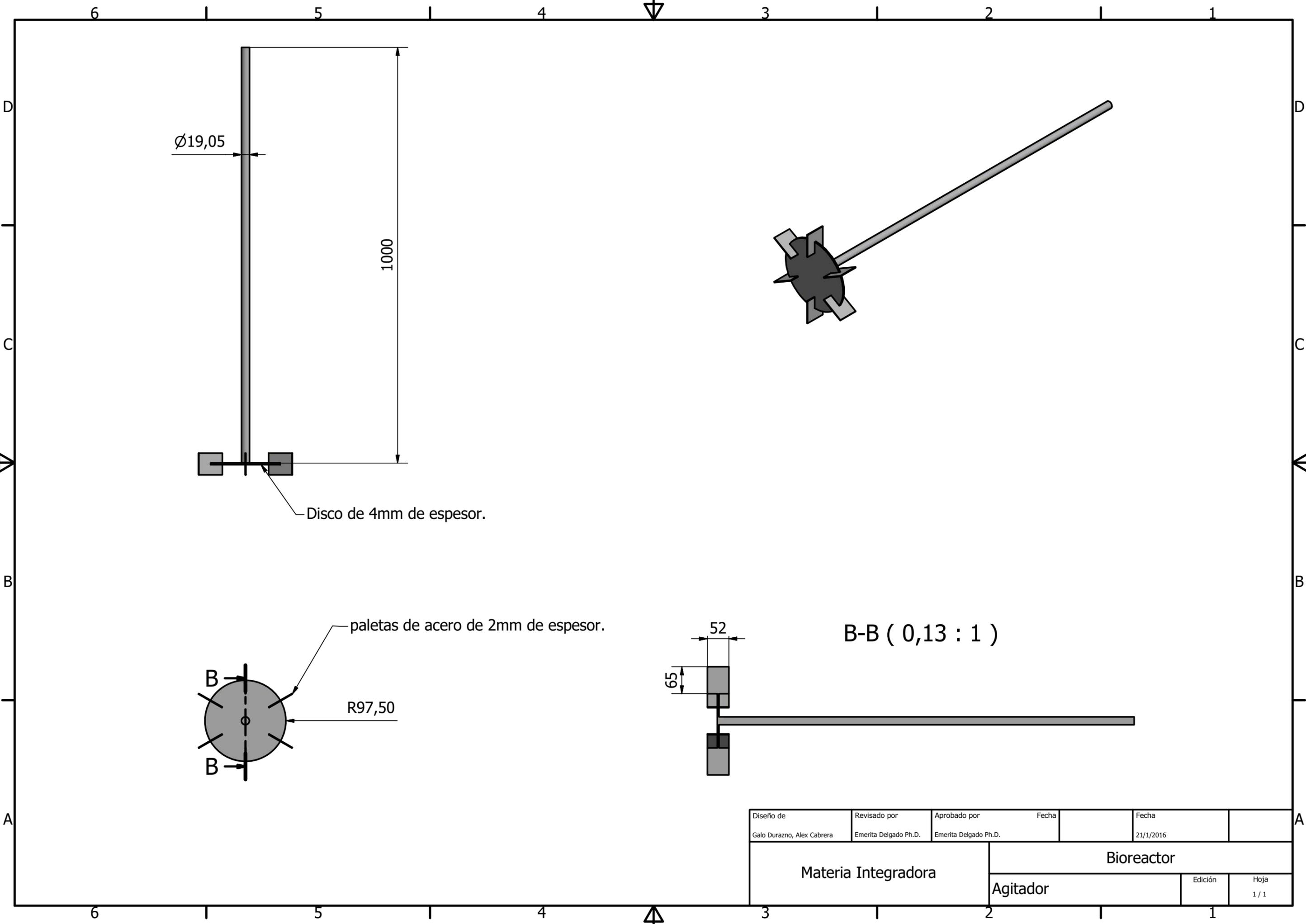
A-A ( 0,08 : 1 )



Diseño de Galo Durazno, Alex Cabrera	Revisado por Emerita Delgado Ph.D.	Aprobado por Emerita Delgado Ph.D.	Fecha	Fecha 20/1/2016	
MATERIA INTEGRADORA		Bioreactor			
		Tanque	Edición 1 / 1	Hoja 1 / 1	



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
Galo Durazno, Alex Cabrera	Emerita Delgado Ph.D.	Emerita Delgado Ph.D.		21/1/2016	
Materia Integradora			Bioreactor		
			Codo de Serpentin	Edición	Hoja
					1 / 1



Ø19,05

1000

Disco de 4mm de espesor.

paletas de acero de 2mm de espesor.

R97,50

B-B ( 0,13 : 1 )

52

65

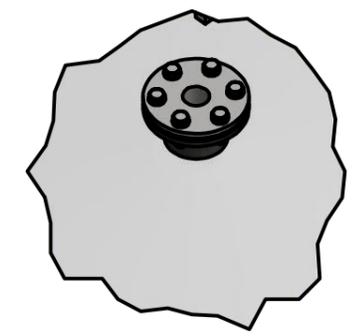
Diseño de Galo Durazno, Alex Cabrera	Revisado por Emerita Delgado Ph.D.	Aprobado por Emerita Delgado Ph.D.	Fecha	Fecha 21/1/2016	
Materia Integradora			Bioreactor		
			Agitador		Edición

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

D

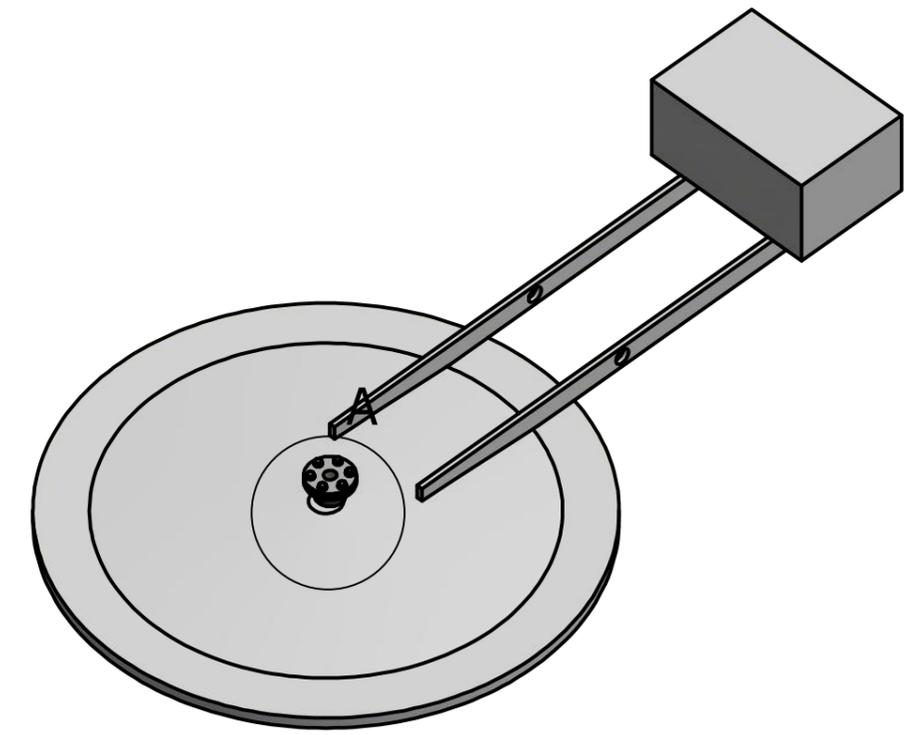
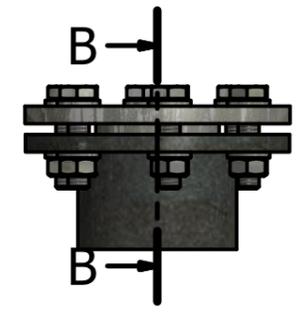
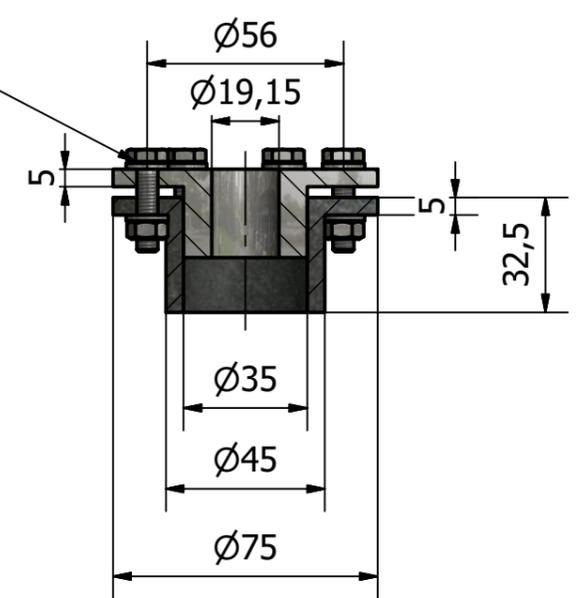
D

A ( 1 : 5 )  
PRENSA ESTOPA



B-B ( 1:2 )

Pernos M6, se necesitan 6.



C

C

B

B

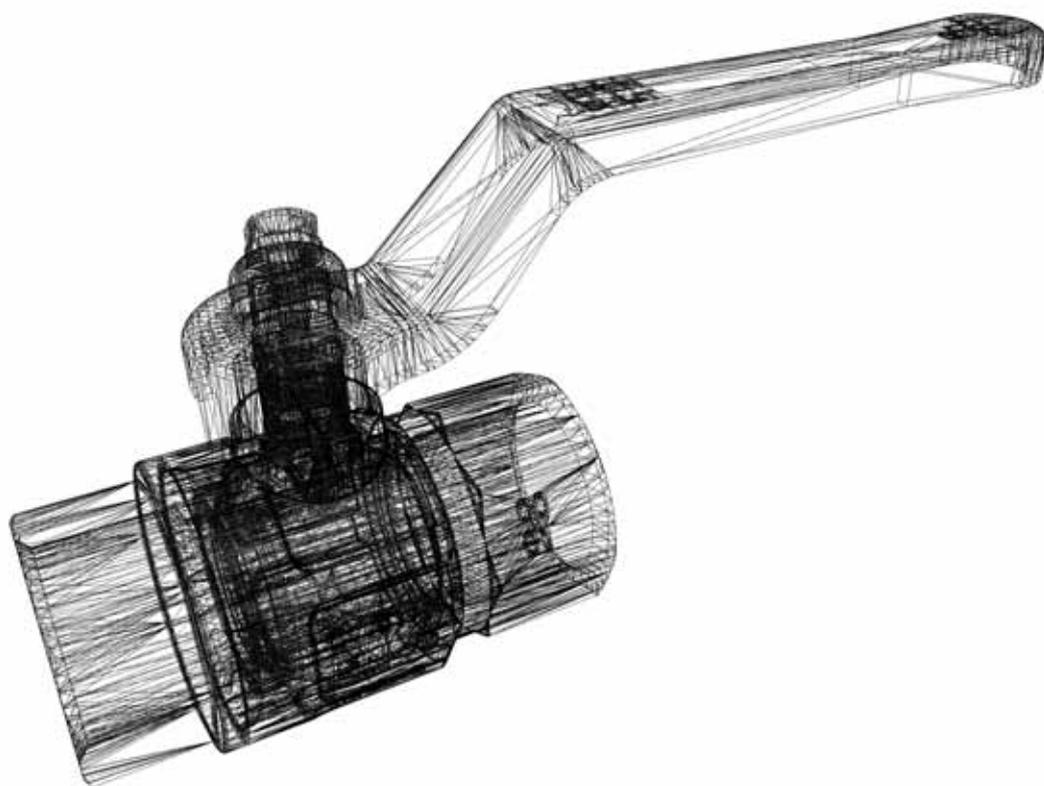
A

A

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

Diseño de Galo Durazno, Alex Cabrera	Revisado por Emerita Delgado Ph.D.	Aprobado por Emerita Delgado Ph.D.	Fecha	Fecha 21/1/2016	
Materia Integradora		Bioreactor			
		Detalle Prensa Estopa	Edición	Hoja 1 / 1	

# CATÁLOGOS DE ACCESORIOS



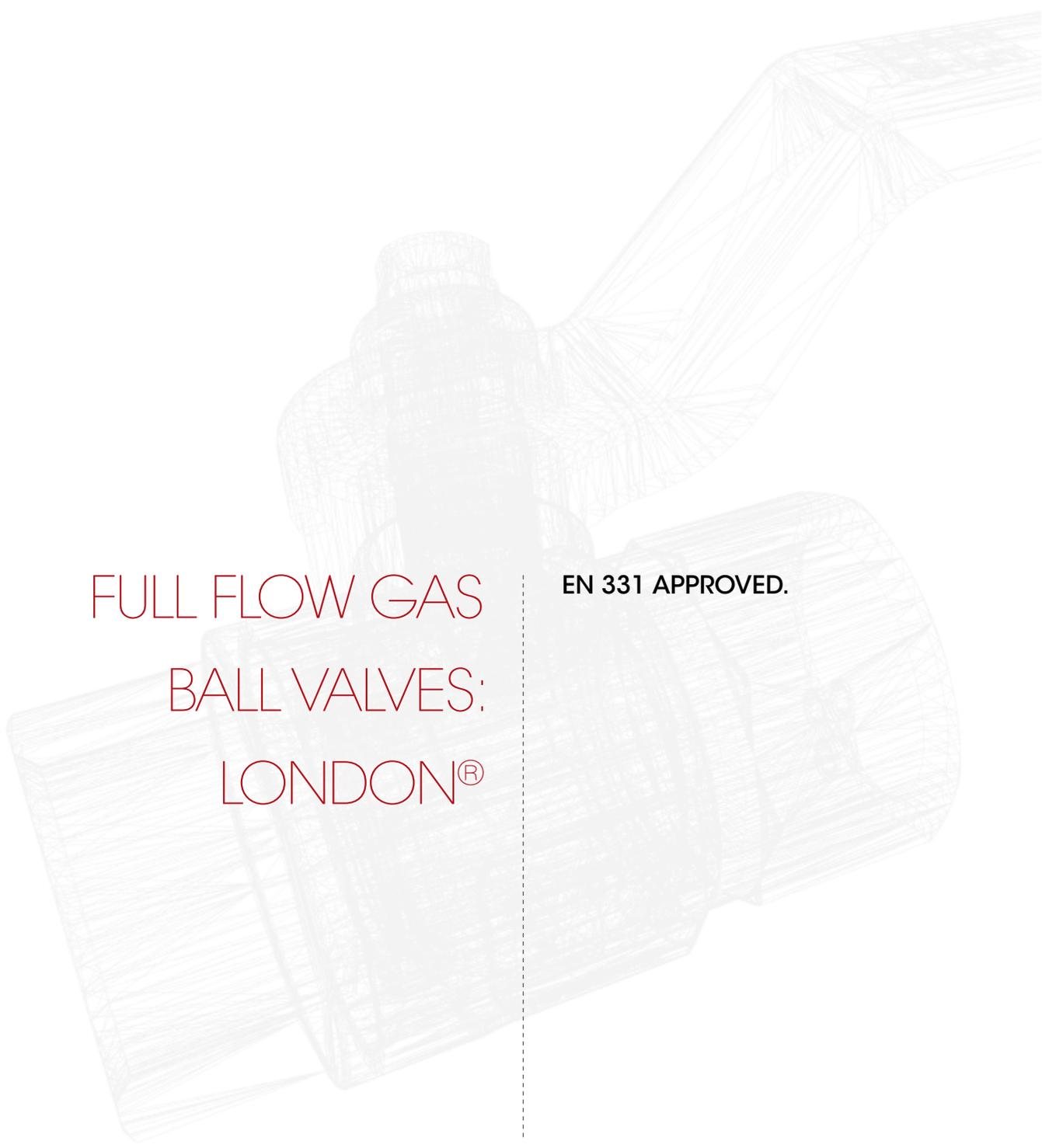
TECHNICAL CATALOGUE

---

GAS BALL VALVES:  
LONDON®



ITAP SpA, founded in Lumezzane (Brescia) in 1972, is currently one of the leading production companies in Italy of valves, fittings and distribution manifolds for plumbing and heating systems. Thanks to fully automated production processes, with 63 tooling machines and 25 assembly lines, we are able to produce 150,000 pieces per day. Our innate pursuit for innovation and observance of technical regulations in force is supported by the company certification ISO 9001: 2008. The company has always considered its focus on quality as the main tool to obtaining significant business results: today ITAP SpA is proud to offer products bearing the approval of numerous international certifying bodies.



FULL FLOW GAS  
BALL VALVES:  
LONDON<sup>®</sup>

EN 331 APPROVED.

GAS BALL VALVES

# 266

LONDON®  
BALL VALVE,  
FULL FLOW



SIZE	PRESSURE	CODE	PACKING
1/4" (DN 8)	5bar/72,5psi	266B014	12/156
3/8" (DN 10)	5bar/72,5psi	266B038	12/156
1/2" (DN 15)	5bar/72,5psi	266B012	10/80
3/4" (DN 20)	5bar/72,5psi	266B034	8/64
1" (DN 25)	5bar/72,5psi	266B100	6/48
1"1/4 (DN 32)	5bar/72,5psi	266B114	4/24
1"1/2 (DN 40)	5bar/72,5psi	266B112	2/18
2" (DN 50)	5bar/72,5psi	266B200	2/14

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

### EN 331 APPROVED.

Female/female threads.

Body in nickel-plated brass.

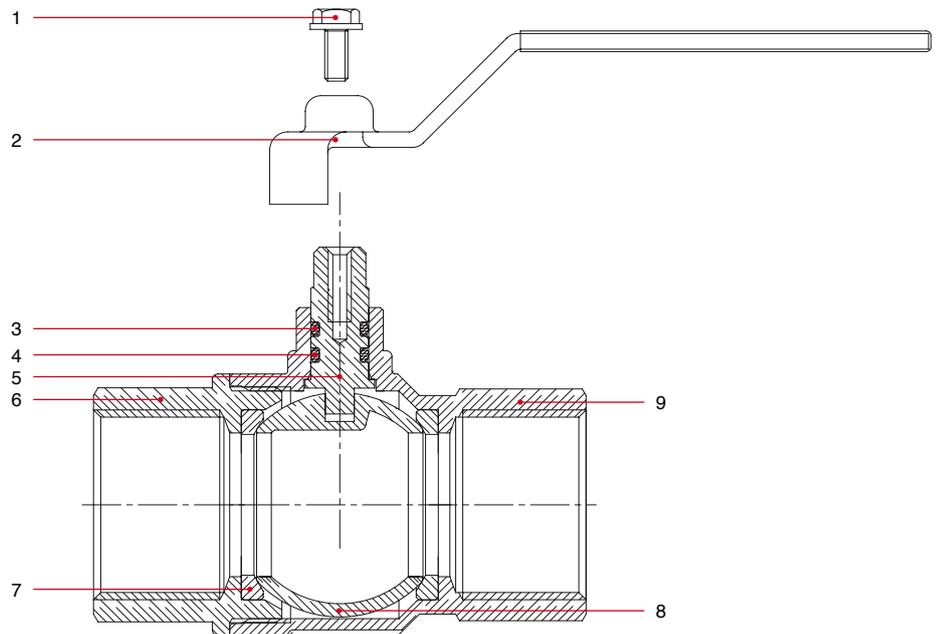
Flat lever handle in lined steel.

Minimum and maximum working temperatures: -20°C, 60°C.

Female thread ISO 7/1 Rp parallel

(equivalent to DIN EN 10226-1 and BS EN 10226-1).

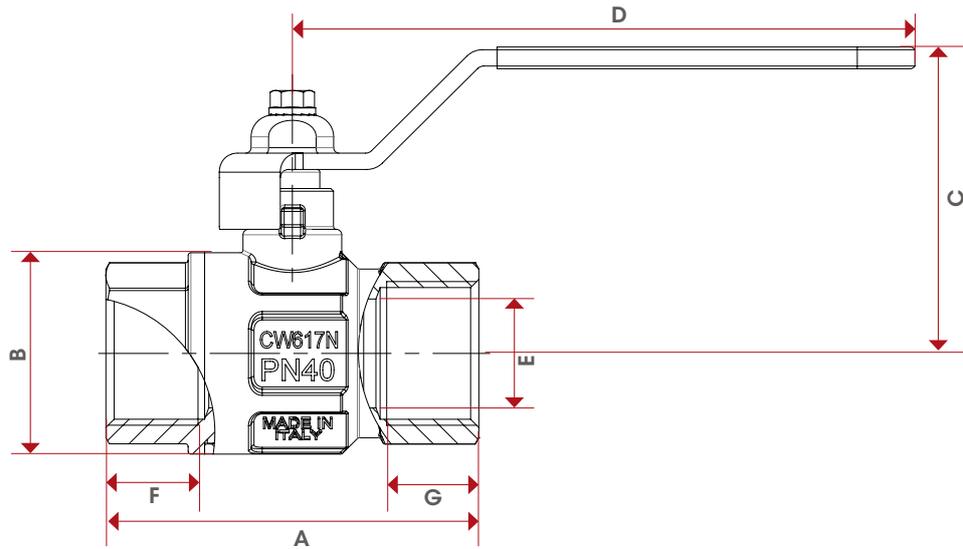
## MATERIALS



POS.	DESCRIPTION	N.	MATERIAL
1	Screw	1	Zinc-plated steel Fe CB4
2	Flat lever handle	1	Zinc-plated steel Fe.P04
3	O-Ring	1	VITON®
4	O-Ring	1	NBR
5	Stem	1	Brass CW614N
6	End adapter	1	Nickel-plated brass CW617N
7	Seat	2	P.T.F.E.
8	Ball	1	Chrome-plated brass CW617N
9	Body	1	Nickel-plated brass CW617N



## OVERALL DIMENSIONS



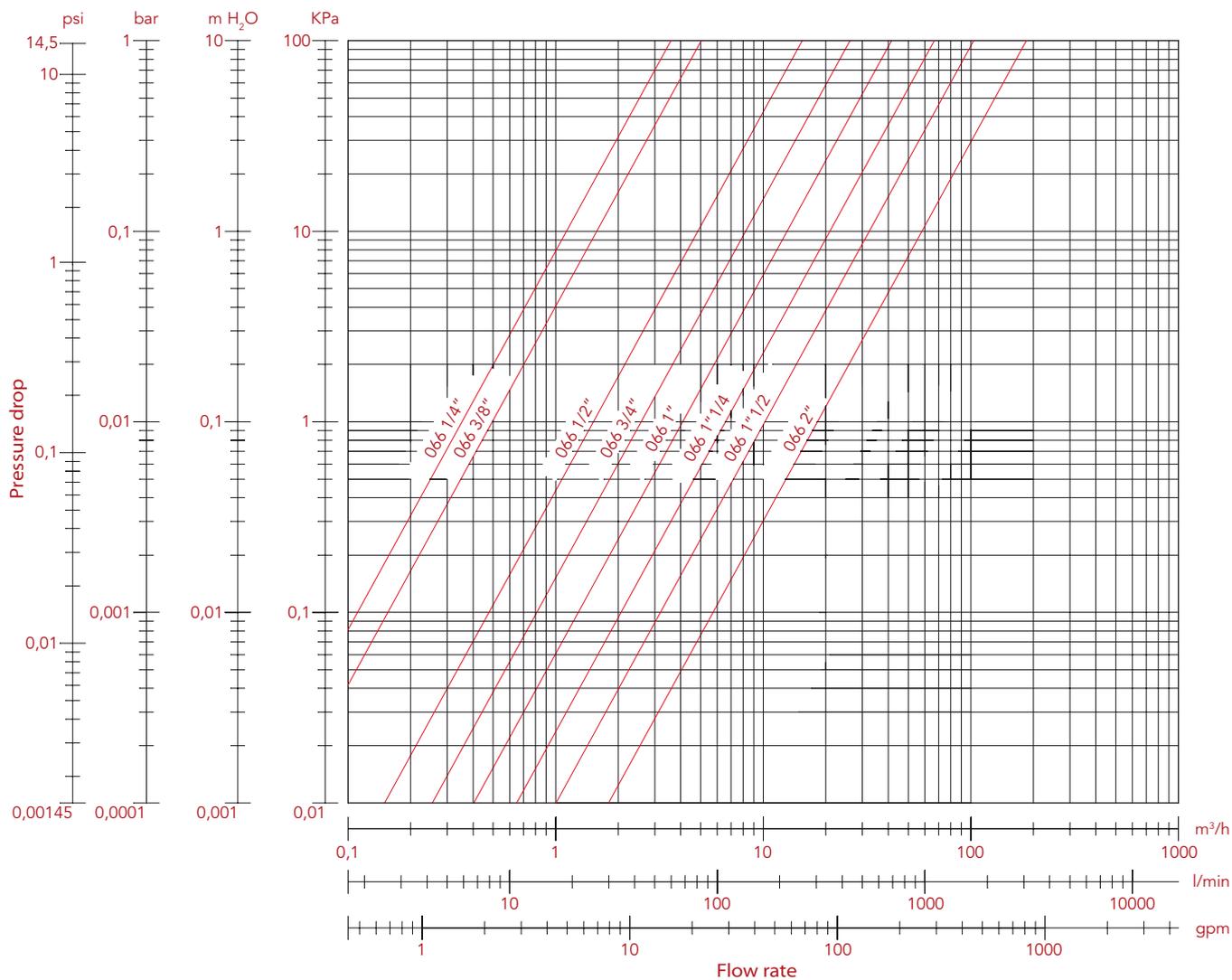
	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
DN	8	10	15	20	25	32	40	50
A	49,5	52,4	61	68	85	99,5	109	130
B	23,5	24	30,5	37	45,5	58	71	85
C	41,8	41,8	50,3	56,3	60,3	76,3	91,8	98,8
D	85,5	85,5	92,5	113,5	113,5	138	158	158
E	10	10	15	20	25	32	40	50
F	11	11,4	15	16,3	19,1	21,4	21,4	25,7
CH	18	21	25	31	38	47	54	66
Kg/cm <sup>2</sup> bar	5	5	5	5	5	5	5	5
LBS - psi	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5

## CERTIFICATIONS



# LOSS DIAGRAM WITH WATER

Art: 066 - 067 - 068 - 069 - 266 - 267



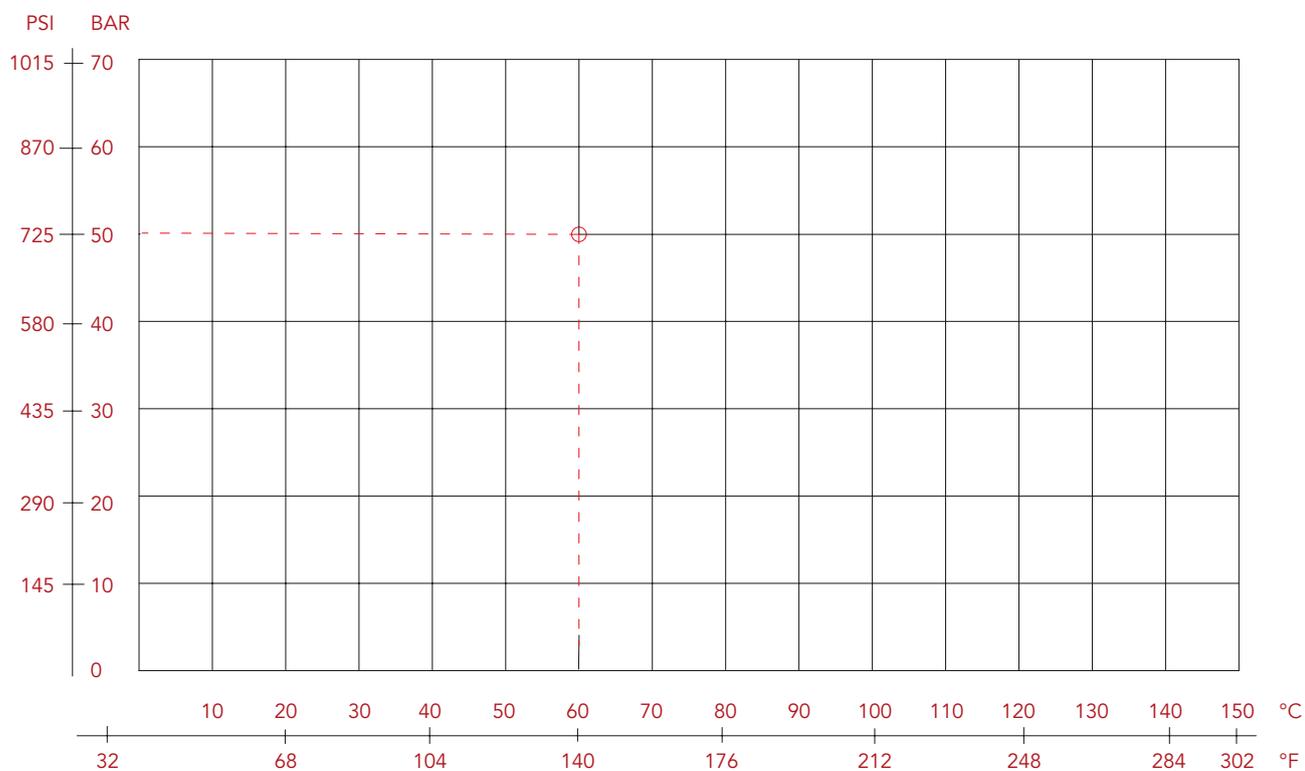
SIZE	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Ø	10	10	15	20	25	32	40	50
Kv	3,45	5,00	15,65	26,26	41,44	63,69	101	169





# PRESSURE-TEMPERATURE DIAGRAM

GAS BALL VALVES



NB: Maximum working temperature for gas: +60 °C  
The working pressure for gas is from 0 to 5 bar.

## MANUFACTURER INSTRUCTIONS

### Installation

The itap S.p.A's valves are bi-directional, that means they manage the flow in both the directions. The valves are composed by a ball, two seal in PTFE material, one stem, two sailing rings (O-Rings), one handle and a couple of parts made of brass (body and end adopter) that contain them and that are assembled by means of threat and a sealed material to obtain their aim. To avoid that the sealing material gets brake and than the valve gets lose the connection between body and the end adopter, it's necessary to avoid to submit the two parts under the influence of a torque.

For their installation ones have to use the normal hydraulic practices, and in particular:

- Ones have to be sure that the two pipes are correctly aligned,
- during the assembling ones have to apply the assembling tool at the end that is nearest to the pipe,
- the application of the sealing materials by the fitter (PTFE or hempen cloth) must be limited at the threat zone. An excess should interferes in the ball-gasket's closure zone, compromising the tightness.
- In the case that the fluid transported presents some impurities (dust, water too hard, etc.) ones have to remove these impurities by the means of a filter. Otherwise they could damage the seals.

### Disassembly the installed valve

To remove the valve from the pipe line or anyhow before to unscrew the junctions linked to it:

- wear the clothing protective normally required to work with the fluid transported within the line.
- Depressurize the line and operate in this way:
  - positioning the valve in opened position and than empty the line
  - handle the valve to put down the residue pressure contained inside the space between the ball and the body before of remove it from the line,
  - during the disassembly apply the screw tool at the end of the valve nearest the pipe

### Maintenance

Verify the valves periodically, in function oh their application's field and in function of their work conditions, to be sure that the valves work correctly.

### Warnings

- any deterioration or destruction of any part of the manually operated ball valve shall result in the need to replace complete valve: alterations to any part of the complete valve shall result in the valve no longer being in compliance with the performance requirements of EN 331 standard;
- ensure that the manually operated ball valve allows an adequate flow rate for its intended use;
- all installations should be performed in accordance with existing local installation regulations and codes of practice where they exist;
- it is imperative to follow the installation instructions of the manually operated ball valve manufacturer and of the appliance manufacturer, including those for the correct position of the connection point for the valve.



**Description & Features:**

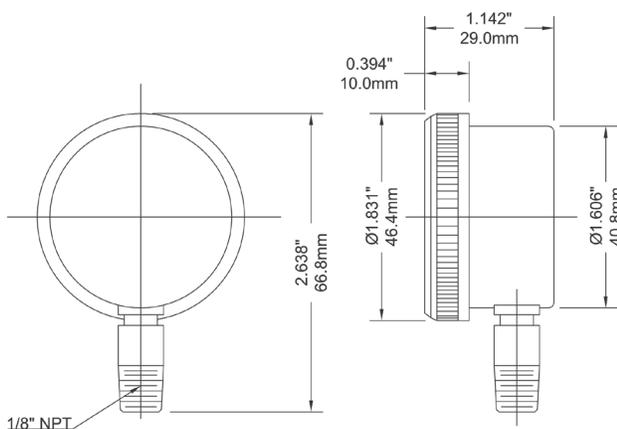
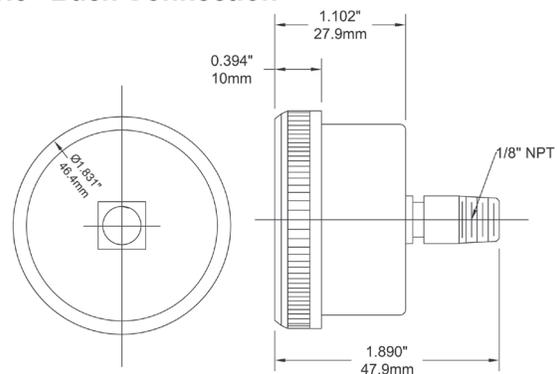
- A general-purpose gauge that is serviceable and pulsation resistant
- 1.5" (40mm) to 3.5" (90mm) dial sizes
- Dampened movement combined with a "flutterless" pointer
- Removable lens
- Zero-adjustment
- ASME B40.100 compliant
- CRN registered
- $\pm 2-1-2\%$  accuracy
- 5 year warranty

**Applications:**

- Compressors, filters, regulators, water pumps, paint sprayers and a variety of other rapid pressure fluctuation applications

**Specifications**

<b>Dial</b>	1.5" (40mm), 2" (50mm), 2.5" (63mm), 3.5" (90mm) white aluminum with black and red markings
<b>Case</b>	Steel, painted black
<b>Lens</b>	Acrylic, threaded
<b>Socket</b>	Brass
<b>Connection</b>	1/8" NPT or 1/4" NPT standard
<b>Bourdon Tube</b>	Phosphor bronze
<b>Movement</b>	Brass (flutterless) with zero adjustment
<b>Pointer</b>	Aluminum, black
<b>Welding</b>	<1,000 psi: 60% tin 40% lead, $\geq 1,000$ psi: silver alloy
<b>Over-pressure Limit</b>	25% of full scale value
<b>Working Pressure</b>	Maximum 75% of full scale value
<b>Ambient/Process Temperature</b>	-40°F to 150°F (-40°C to 65°C)
<b>Accuracy</b>	$\pm 2-1-2\%$ ANSI/ASME Grade A

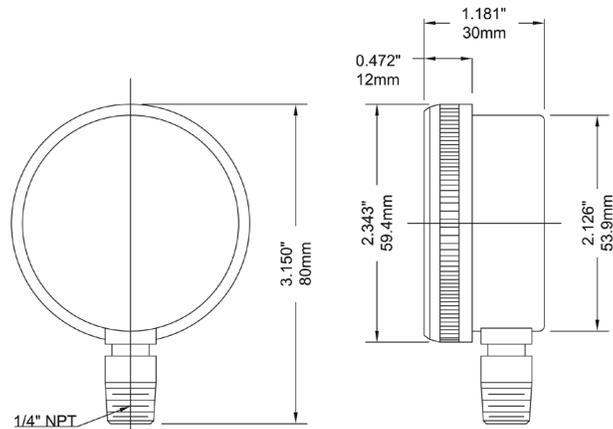
**1.5" Bottom Connection****1.5" Back Connection**

### Order Codes (products in bold are normally stock in North America)

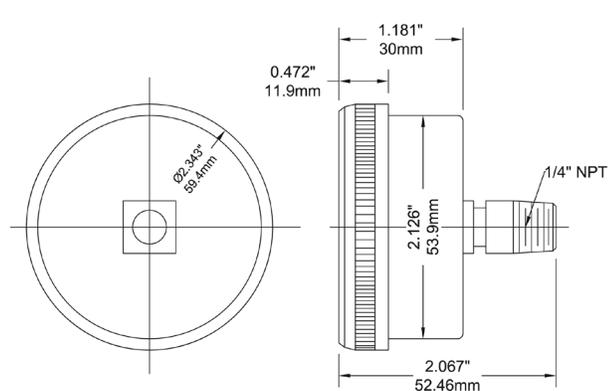
Dial Size	1.5" (40mm)		2" (50mm)				2.5" (63mm)		3.5" (90mm)	
	1/8" Bottom	1/8" Back (CB)	1/8" Bottom	1/8" Back (CB)	1/4" Bottom	1/4" Back (CB)	1/4" Bottom	1/4" Back (CB)	1/4" Bottom	1/4" Back (CB)
30" Hg Vac/kPa	<b>P9S901297</b>	P9S901397	P9S90195	P9S901424	P9S90135	P9S901428	P9S90210	P9S901431	P9S90220	P9S901455
30"/0/15 psi/kPa	-	-	-	-	-	-	P9S90152	-	-	-
30"/0/30 psi/kPa	-	-	-	-	-	-	P9S90153	-	-	-
30"/0/60 psi/kPa	-	-	-	-	-	-	P9S90154	-	-	-
30"/0/100 psi/kPa	-	-	-	-	-	-	P9S90155	-	-	-
0/15 psi/kPa	P9S901299	<b>P9S901399</b>	P9S90196	<b>P9S901425</b>	<b>P9S90136</b>	P9S901429	P9S90211	P9S901436	P9S90229	P9S901464
0/30 psi/kPa	P9S901300	P9S901400	P9S90206	P9S901402	P9S90199	<b>P9S901403</b>	<b>P9S90212</b>	P9S901437	<b>P9S90221</b>	P9S901456
0/60 psi/kPa	P9S901301	<b>P9S901401</b>	P9S90207	P9S901404	<b>P9S90201</b>	P9S901405	<b>P9S90213</b>	P9S901438	P9S90222	P9S901457
0/100 psi/kPa	P9S901320	<b>P9S901420</b>	P9S90208	P9S901406	P9S90202	<b>P9S901407</b>	<b>P9S90214</b>	P9S901439	<b>P9S90223</b>	P9S901458
0/160 psi/kPa	P9S901321	<b>P9S901421</b>	P9S90197	P9S901408	P9S90203	<b>P9S901409</b>	<b>P9S90215</b>	P9S901440	P9S90224	P9S901459
0/200 psi/kPa	P9S901322	P9S901422	P9S90209	P9S901426	<b>P9S90204</b>	P9S901410	<b>P9S90216</b>	P9S901441	<b>P9S90225</b>	P9S901460
0/300 psi/kPa	P9S901323	P9S901423	P9S90198	P9S901427	<b>P9S90205</b>	P9S901411	P9S90217	P9S901442	P9S90226	P9S901461
0/400 psi/kPa	P9S901324	P9S901443	P9S901449	P9S901445	P9S901451	P9S901447	P9S90219	P9S901453	P9S90227	P9S901462
0/600 psi/kPa	P9S901325	<b>P9S901444</b>	P9S901450	P9S901446	P9S901452	P9S901448	P9S90218	P9S901454	P9S90228	P9S901463

Other ranges and connection sizes available upon request. For scale change, refer to How to Order Guide for scale codes.

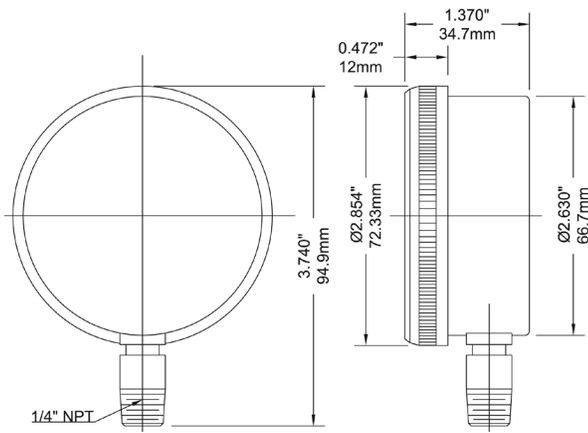
### 2" Bottom Connection



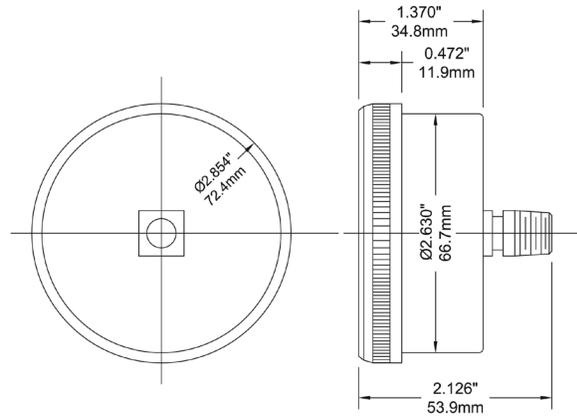
### 2" Back Connection



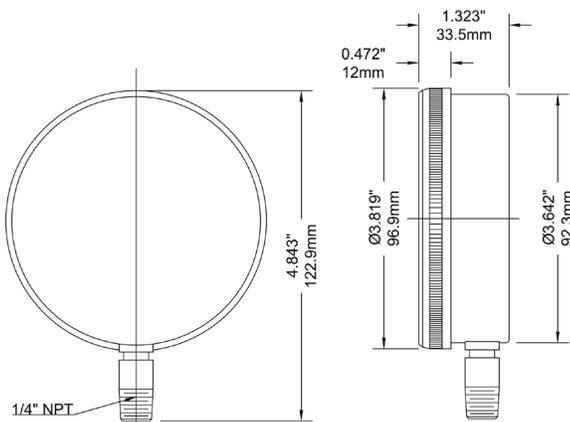
### 2.5" Bottom Connection



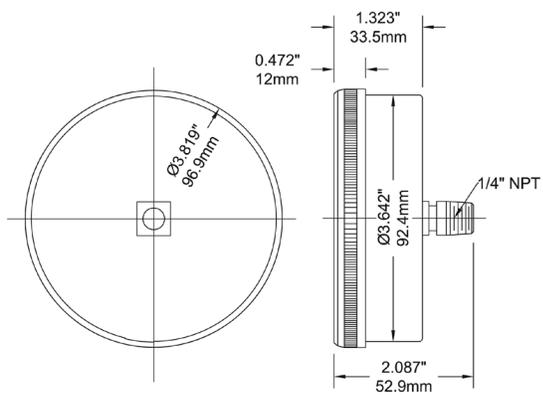
### 2.5" Back Connection



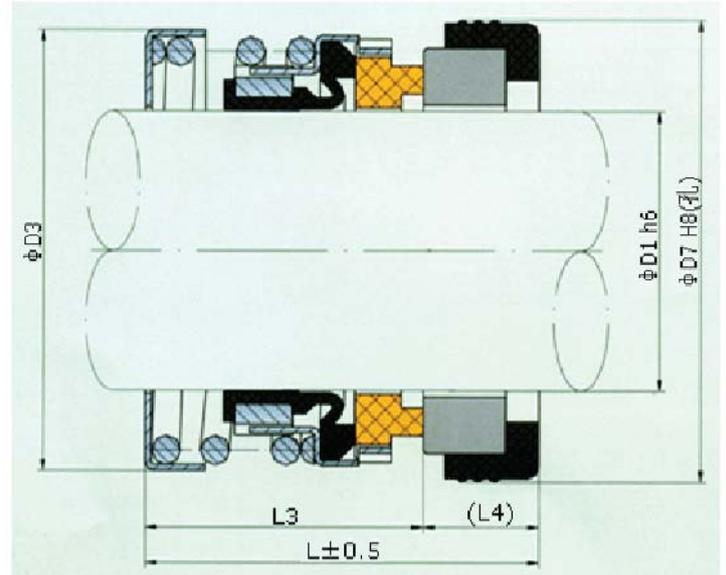
### 3.5" Bottom Connection



### 3.5" Back Connection



CM 560



••MODE	D1	D3	D7	L	L3	L4
• CM560A-8	8	17.5	21	18.9	13.9	5.0
• CM560A-10	10	23.5	24	23.0	16.0	6.5
• CM560A-11	11	23.5	24	23.0	16.0	6.5
• CM560A-12	12	26.0	26	24.0	17.0	6.5
• CM560A-14	14	28.0	28	25.0	18.0	7.0
• CM560A-15	15	28.0	28	25.0	18.0	7.0
• CM560A-16	16	30.0	32	27.0	19.0	7.0
• CM560A-18	18	32.5	35	26.0	18.0	7.0
• CM560A-19	19	32.5	35	26.0	18.0	8.0
• CM560A-20	20	35.5	38	28.0	20.0	8.5
• CM560A-22	22	37.5	40	28.0	20.0	8.0
• CM560A-25	25	42.0	44	29.0	20.0	9.0
• CM560A-28	28	45.5	46	30.0	21.0	9.0
• CM560A-30	30	48.0	50	31.0	22.0	9.0
• CM560A-32	32	50.0	54	33.0	24.0	9.0
• CM560A-35	35	54.5	58	36.0	26.0	10.0
• CM560A-38	38	58.5	60	37.0	27.0	10.0
• CM560A-40	40	62.5	64	38.0	28.0	10.0
• CM560A-45	45	66.5	66	40.0	30.0	10.0
• CM560A-50	50	72.5	72	42.0	32.0	10.0

••MODE	D1	D3	D7	L	L3	L4
• CM560B-3/8"	9.53	•	22.2	28.5	22.2	6.3
• CM560B-1/2"	12.70	23.0	25.4	30.2	22.2	8.0
• CM560B-5/8"	15.88	26.5	31.8	32.5	22.2	10.3
• CM560B-3/4"	19.05	30.5	35.0	32.5	22.2	10.3
• CM560B-7/8"	22.23	34.0	38.1	34.3	24.0	10.3
• CM560B-1"	25.40	40.0	41.3	36.4	25.4	11.0
• CM560B-1 1/8"	28.58	44.5	44.5	38.0	27.0	11.0
• CM560B-1 1/4"	31.75	46.5	47.7	38.0	27.0	11.0
• CM560B-1 3/8"	34.93	51.5	50.8	39.5	28.5	11.0
• CM560B-1 1/2"	38.10	54.0	54.0	39.5	28.5	11.0
• CM560B-1 5/8"	41.28	58.0	60.3	47.7	35.0	12.7
• CM560B-1 3/4"	44.45	61.5	63.5	47.7	35.0	12.7
• CM560B-1 7/8"	47.63	65.5	66.7	50.7	38.0	12.7
• CM560B-2"	50.80	70.5	69.9	50.7	38.0	12.7
• CM560B-2 1/8"	53.98	75.0	76.2	57.3	43.0	14.3
• CM560B-2 1/4"	57.15	79.0	79.4	57.3	43.0	14.3
• CM560B-2 3/8"	60.33	82.0	82.6	60.3	46.0	14.3
• CM560B-2 1/2"	63.50	86.0	85.7	60.3	46.0	14.3
• CM560B-2 5/8"	66.68	91.5	85.7	65.0	49.0	16.0
• CM560B-2 3/4"	69.85	91.5	88.9	65.0	49.0	16.0
• CM560B-2 7/8"	73.03	99.0	95.3	68.5	52.0	16.0
• CM560B-3"	76.20	99.0	98.4	68.5	52.5	16.0

••MODE	D1	D3	D7	L	L3	L4
• CM560C-16	16	26.5	27	36.0	25.7	10.3
• CM560C-18	18	30.5	33	37.5	25.7	10.3
• CM560C-20	20	34.0	35	37.5	27.2	10.3
• CM560C-22	22	34.0	37	38.2	27.2	11.0
• CM560C-24	24	40.0	39	40.0	29.0	11.0
• CM560C-25	25	40.0	40	40.0	29.0	11.0
• CM560C-28	28	44.5	43	42.5	31.5	11.0
• CM560C-30	30	46.5	45	42.5	31.5	11.0
• CM560C-32	32	46.5	48	42.5	31.5	11.0
• CM560C-33	33	50.5	48	42.5	31.5	11.0
• CM560C-35	35	51.5	50	42.5	31.5	11.0
• CM560C-38	38	54.0	56	45.0	34.0	11.0
• CM560C-40	40	58.0	58	45.0	32.3	12.7
• CM560C-43	43	61.5	61	45.0	32.3	12.7
• CM560C-45	45	61.5	63	45.0	32.3	12.7
• CM560C-48	48	65.5	66	45.0	32.3	12.7
• CM560C-50	50	70.5	70	47.5	34.8	12.7
• CM560C-53	53	74.0	73	47.5	33.3	14.2
• CM560C-55	55	76.0	75	47.5	33.3	14.2
• CM560C-58	58	79.0	78	52.5	38.3	14.2
• CM560C-60	60	82.0	80	52.5	38.3	14.2
• CM560C-63	63	87.0	83	52.5	38.3	14.2
• CM560C-65	65	85.0	85	52.0	36.0	16.0
• CM560C-68	68	91.5	90	52.0	36.0	16.0
• CM560C-70	70	91.5	92	60.0	44.0	16.0
• CM560C-73	73	99.0	93	60.0	44.0	16.0
• CM560C-75	75	99.0	97	60.0	44.0	16.0

Applications

- Temperature: -40~150
- Pressure: ≤0.8MPa
- Speeds: ≤10m/sec
- Medium:

Oil, water and general corrosive liquid

- Applications:

Used in auto-cooling pumps, centrifugal pumps, submersible pumps and general industrial pumps.

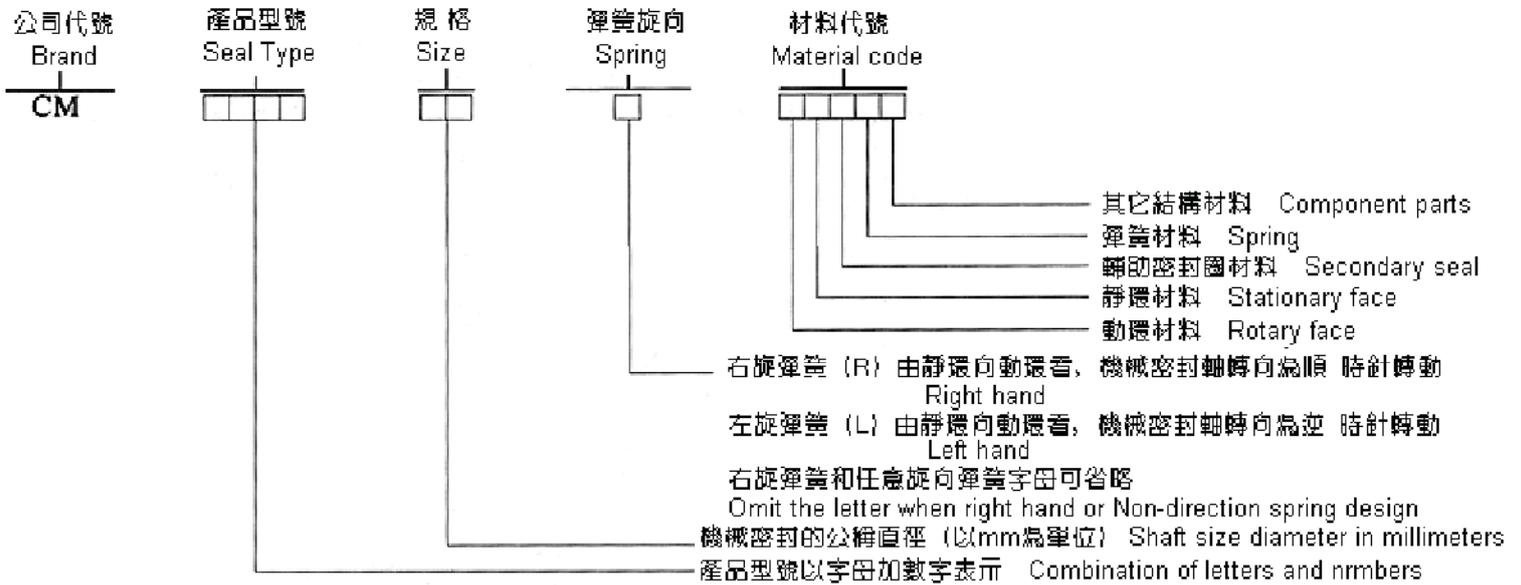
- Features:

- Non-clogging single coil spring self aligning feature compensates for excessive shaft.
- Suitable for many specifications and designs.

## Mechanical seals material instruction

Description 部 件	Material 材 質	Material Feature & Suitable Scope 材質特點與用途
Rotary Face 動環	Carbon 樹脂碳石墨	Resistant against: erosive, heat. Suitable for water & oil medium 具有良好的自潤性和較低的摩擦係數，耐腐性能好、耐高溫。適用於清水、油類介質
	Ceramic 工程陶瓷	Resistant against: shore hardness, abrasion. Suitable for dusted water & oil 硬度高、耐磨損。適用於含小顆粒雜質的清水、油類等介質
	Silicon Carbide 碳化硅	Resistant against: heat, abrasion, erosive. Suitable for industrial pump submersible pump sewage pumps etc. 耐高溫、耐腐、耐磨。適用於化工泵、潛污泵、船業用泵等
Stationary Face 靜環	Tungsten Carbide 碳化鎢	Resistant against: hardness, erosive, heat. Suitable for industrial pump submersible pump sewage pumps etc. 高硬度、耐磨損、耐高溫。適用於化工泵、潛污泵、船業用泵等
Bellows 波紋管	NBR 丁腈膠	Resistant against: oil, pressure, abrasion, high elasticity and mechanical strength. Suitable for water & oil under -20-100°C 耐油、耐壓、耐磨、彈性好、強度高。適用於常溫-20°C-100°C的清水、油類等介質
	EPDM 乙丙膠	Resistant against: heat, freeze, chemical reagents depending. Suitable for water under -40°C-150°C 耐熱、耐氣候性好、抗臭氧和各種化學藥品。適用於-40°C-150°C的清水
Cup Gasket 靜環套	Viton 氟橡膠	Resistant against: heat, oil, reagents, medicine, acetone. Suitable for high temperature hydraulic equipment and vacuum equipment suitable for erosive medium under -20°C-180°C 耐熱、耐油、耐藥品性好、耐中等酸鹼、丙酮丙醇。適用於-20°C-180°C的腐蝕介質 高溫度及真空設備
O Ring O型圈	MVQ 硅膠	Resistant against: ozone aging merely aging acetum, ammomia ethanol. Suitable for medium -60°C-200°C 耐臭氧老化、光老化，耐醋酸、氨水、乙醇。適用於-60°C-200°C介質中使用
	ECO 氯醇膠	Resistant against: Freon, rock oil. Suitable for medium -30°C-130°C 耐氟里昂、石油、基油類。適用於-30°C-130°C的介質
Retainer 傳動圈	SUS304 SUS316	Resistant against: abrasion, antirust of feature 具有耐腐、防銹特點
Drive Ring 緊圈		
Spring 彈簧		
Spring Seat 彈簧座		

**Mechanical Seal Coding System**



**Material And Component Codes**

1st, 2nd Symbol 第1位和第2位數字		3rd Symbol 第3位數字		4th, 5th Symbol 第4位和第5位數字	
Rotary and stationary face material 動環和靜環材料		Secondary seal material 輔助密封圈材料		Spring and other parts 彈簧和其它結構材料	
Material name 材料名稱	Code 代號	Material name 材料名稱	Code 代號	Material name 材料名稱	Code 代號
Furane resin Impregnated carbon graphite M254K, M120K, M106K 浸漬樹脂石墨(M254K, M120K, M106K)	A	Nitrile-Butadiene Rubber 丁腈橡膠	P	SUS316 316 Stainless steel	C
Antimony impregnated carbon graphite M120D, M106D 浸錒石墨(M120D, M106D)	A1	Viton (fluorocarbon) 氟橡膠	F	SUS304 304 Stainless steel	C1
Reaction bonded silicon carbide 反應燒結碳化硅	S	Silicon Rubber 硅橡膠	G	Chromium steel 高路鋼	R
Pressureless reaction bonded silicon 無壓燒結碳化硅	S1	Epichloro-hydrin Rubber 氯醇橡膠	N	65Mn 65Mn	T
Aluminium oxide ceramic 氧化鋁陶瓷	B	Ethylene propylene Rubber 乙丙橡膠	E	Brass 黃銅	H
99.5% Aluminium oxide ceramic 99.5% 純度氧化鋁陶瓷	B1	Pure PTFE 聚四氟乙烯	V	Bronze 青銅	Q
Nickel bound tungsten carbide (YWN8) 鎳基碳化鎢(YWN8)	U	Filled PTFE 填充聚四氟乙烯	D	Monel 蒙乃爾合金	M
Cobalt bound tungsten carbide (YG6) 鈷基碳化鎢(YG6, YG8)	U1			Hastelloy C 哈氏合金	M1

Tubería de Polietileno Alta densidad Uso en Presión diámetro interior controlado bajo norma ASTM D-2239.

Diámetro Nominal		Tipo de PE	Diámetro Interior		Espesor		Presión de Trabajo			Longitud rollo	peso/m
			min	max	e. min	e. max	PSI	MPa	kgf./cm2		
pulgadas	mm		mm	mm	mm	mm				m	g.
1/2	18.75	PEAD	15.5	16.0	1.4	1.6	120	0.83	8.45	100-200	81
3/4	26	PEAD	19.2	19.5	3.05	3.2	180	1.24	12.67	100-200	217
1	31.6	PEAD	24.8	25.2	3.05	3.2	150	1.03	10.56	100-200	274

## VENTAJAS

Materia prima utilizada

- La primera manguera en el país fabricada con polietileno alta densidad.
- Elaboradas con material 100% virgen.

## RESISTENCIA

- Más liviana y más resistente.
- Mayor resistencia a la presión con espesores menores.

## RENDIMIENTO

- Más metros por el menor precio.
- Su presentación en rollos de 100 m o mas disminuye el uso de accesorios y aumenta el rendimiento en la instalación.

## RESISTENCIA QUÍMICA

- El polietileno alta densidad con el cual es fabricada la tubería no sufre corrosión química ni galvanica que evita la formación de depósito o incrustados en las paredes interiores, conservando inalterables su sección.
- El PEAD resiste el ataque de aguas y suelos agresivos.

## PROPIEDADES

- No trasmite olor ni sabor al agua potable u otros fluidos de consumo humano.
- Aislante eléctrico.

## FÁCIL MANIPULACIÓN E INSTALACIÓN

- Por su bajo peso facilita su instalación, manipuleo y transporte en obra.
- Fácil de cortar con herramientas manuales.
- Mediante unión por inserción se puede unir: tuberías entre sí, con accesorios, con PVC rígido y valvulería metálica.



### Description & Features:

- A general purpose, versatile 1" (25mm) to 6" (150mm) dial, 304 stainless steel thermometer
- Bi-metallic sensing element for reliable readings
- Back, bottom or adjustable angle connection
- Welded stem length from 2.5" (63mm) and up
- ±1% accuracy
- Anti-parallax dial that reduces operator reading errors (3" (75mm)-6" (150mm))
- Recalibrator screw is standard on all dial sizes
- ASME B40.200 compliant
- 5 year warranty

### Applications:

- Industrial process, heating and air conditioning, ventilation and wastewater

### Specifications

Specifications	
<b>Dial</b>	1" (25mm), 2" (50mm): Aluminum with black markings, flat dial 3" (75mm), 4" (100mm), 5" (127mm), 6" (150mm): Aluminum with black markings, anti-parallax dial
<b>Case</b>	AISI 304 SS
<b>Stem</b>	AISI 304 SS welded to socket, centre back, bottom or adjustable angle configurations (316 SS optional*) 1" (25mm), 2" (50mm) dial: Centre back connection only
<b>Recalibrator Screw</b>	Standard
<b>Lens</b>	1" (25mm): Polycarbonate Others: Glass standard, hermetically sealed
<b>Ring</b>	AISI 304 SS
<b>Connection</b>	1" (25mm): None 2" (50mm): 1/4" NPT standard 3" (75mm), 4" (100mm), 5" (127mm), 6" (150mm): 1/2" NPT standard
<b>Sensing Element</b>	Bi-metallic coil
<b>Pointer</b>	Aluminum, painted black
<b>Maximum Operating Pressure</b>	125 psi (861 kPa)
<b>Operating Temperature</b>	75% of full scale value (recommended maximum)
<b>Ambient Temperature</b>	-58°F to 248°F (-50°C to 120°C)
<b>Accuracy</b>	±1% of full scale
<b>Enclosure Rating</b>	2" (50mm) to 6" (150mm): IP68

\*Contact Winters for 316 SS requirements

Note: The use of a thermowell is recommended to protect the thermometer in corrosive or pressure applications, as well as to maintain a closed system during its removal from the process

## Order Codes (products in bold are normally stock in North America)

1" (25mm) Dial, Fixed Centre Back	
Temperature Range	5" Stem Length Code
0°F to 250°F&C	<b>TBM10050B8</b>
-40°F to 160°F	<b>TBM10050B15</b>
200°F to 1,000°F&C	<b>TBM10050B31</b>

2" (50mm) Dial, Fixed Centre Back			
Temperature Range	2.5" Stem Length Code	4" Stem Length Code	6" Stem Length Code
-40°F to 120°F&C	<b>TBM20025B2</b>	-	-
0°F to 140°F&C	<b>TBM20025B3</b>	-	-
0°F to 200°F&C	<b>TBM20025B6</b>	-	-
0°F to 250°F&C	<b>TBM20025B8</b>	<b>TBM20040B8</b>	-
50°F to 300°F&C	<b>TBM20025B9</b>	-	<b>TBM20060B9</b>
50°F to 400°F&C	-	<b>TBM20040B10</b>	-
50°F to 500°F&C	<b>TBM20025B11</b>	-	-

3" (75mm) Dial, Fixed Centre Back				
Temperature Range	2.5" Stem Length Code	4" Stem Length Code	6" Stem Length Code	9" Stem Length Code
-40°F to 120°F&C	<b>TBM30025B2</b>	<b>TBM30040B2</b>	-	-
0°F to 140°F&C	<b>TBM30025B3</b>	-	-	-
-40°F to 160°F&C	<b>TBM30025B4</b>	-	<b>TBM30060B4</b>	-
0°F to 200°F&C	<b>TBM30025B6</b>	<b>TBM30040B6</b>	<b>TBM30060B6</b>	-
20°F to 240°F&C	<b>TBM30025B7</b>	<b>TBM30040B7</b>	-	-
0°F to 250°F&C	<b>TBM30025B8</b>	<b>TBM30040B8</b>	<b>TBM30060B8</b>	<b>TBM30090B8</b>
50°F to 300°F&C	<b>TBM30025B9</b>	<b>TBM30040B9</b>	<b>TBM30060B9</b>	<b>TBM30090B9</b>
50°F to 400°F&C	<b>TBM30025B10</b>	<b>TBM30040B10</b>	-	-
50°F to 500°F&C	<b>TBM30025B11</b>	<b>TBM30040B11</b>	<b>TBM30060B11</b>	<b>TBM30090B11</b>
150°F to 750°F&C	-	<b>TBM30040B12</b>	<b>TBM30060B12</b>	-
200°F to 1,000°F&C	-	<b>TBM30040B13</b>	-	-
-40°F to 120°F	-	<b>TBM30040B14</b>	-	-
0°F to 250°F	<b>TBM30025B19</b>	<b>TBM30040B19</b>	-	-

3" (75mm) Dial, Bottom		
Temperature Range	2.5" Stem Length Code	4" Stem Length Code
20°F to 240°F&C	<b>TBM31025B7</b>	<b>TBM31040B7</b>
0°F to 250°F&C	<b>TBM31025B8</b>	-
0°F to 200°F	<b>TBM31025B17</b>	-

3" (75mm) Dial, Adjustable Angle		
Temperature Range	2.5" Stem Length Code	4" Stem Length Code
0°F to 250°F&C	<b>TBM32025B8</b>	<b>TBM32040B8</b>

5" (127mm) Dial, Fixed Centre Back	
Temperature Range	4" Stem Length Code
0°F to 250°F&C	<b>TBM50040B8</b>

5" (127mm) Dial, Adjustable Angle			
Temperature Range	2.5" Stem Length Code	4" Stem Length Code	6" Stem Length Code
0°F to 140°F&C	<b>TBM52025B3</b>	<b>TBM52040B3</b>	-
20°F to 240°F&C	<b>TBM52025B7</b>	-	-
0°F to 250°F&C	<b>TBM52025B8</b>	<b>TBM52040B8</b>	<b>TBM52060B8</b>

**Order Codes:** To order, specify the code for each dial/stem length and the range: i.e. TBM20025 - B26

Dial Size	Stem Length	Fixed Centre Back	Bottom	Adjustable Angle
1" (25mm) pocket thermometer	5" (127mm)	TBM10050	-	-
2" (50mm) lab thermometer	8" (200mm)	TBM20080	-	-
2" (50mm)	2.5" (63mm)	TBM20025	-	-
	4" (100mm)	TBM20040	-	-
	6" (150mm)	TBM20060	-	-
	9" (230mm)	TBM20090	-	-
	12" (300mm)	TBM20120	-	-
	15" (370mm)	TBM20150	-	-
3" (75mm)	2.5" (63mm)	TBM30025	TBM31025	TBM32025
	4" (100mm)	TBM30040	TBM31040	TBM32040
	6" (150mm)	TBM30060	TBM31060	TBM32060
	9" (230mm)	TBM30090	TBM31090	TBM32090
	12" (300mm)	TBM30120	TBM31120	TBM32120
	15" (370mm)	TBM30150	TBM31150	TBM32150
4" (100mm)	2.5" (63mm)	TBM40025	TBM41025	TBM42025
	4" (100mm)	TBM40040	TBM41040	TBM42040
	6" (150mm)	TBM40060	TBM41060	TBM42060
	9" (230mm)	TBM40090	TBM41090	TBM42090
	12" (300mm)	TBM40120	TBM41120	TBM42120
	15" (370mm)	TBM40150	TBM41150	TBM42150
5" (127mm)	2.5" (63mm)	TBM50025	TBM51025	TBM52025
	4" (100mm)	TBM50040	TBM51040	TBM52040
	6" (150mm)	TBM50060	TBM51060	TBM52060
	9" (230mm)	TBM50090	TBM51090	TBM52090
	12" (300mm)	TBM50120	TBM51120	TBM52120
	15" (370mm)	TBM50150	TBM51150	TBM52150
6" (150mm)	2.5" (63mm)	TBM60025	TBM61025	TBM62025
	4" (100mm)	TBM60040	TBM61040	TBM62040
	6" (150mm)	TBM60060	TBM61060	TBM62060
	9" (230mm)	TBM60090	TBM61090	TBM62090
	12" (300mm)	TBM60120	TBM61120	TBM62120
	15" (370mm)	TBM60150	TBM61150	TBM62150

°F & °C (Dual)	Code	°F only	Code	°C only	Code	°C & °F (Dual)	Code
-100°F to 150°F & -70°C to 70°C	B1	-40°F to 120°F	B14	-80°C to 50°C	B26	-30°C to 70°C & -20°F to 150°F	B75
-40°F to 120°F & -40°C to 50°C	B2	-40°F to 160°F	B15	-50°C to 50°C	B27	0°C to 120°C & 30°F to 250°F	B76
0°F to 140°F & -20°C to 60°C	B3	0°F to 140°F	B16	0°C to 50°C	B28	0°C to 300°C & 30°F to 570°F	B77
-40°F to 160°F & -40°C to 70°C	B4	0°F to 200°F	B17	-50°C to 100°C	B29	0°C to 200°C & 30°F to 400°F	B79
25°F to 125°F & -5°C to 50°C	B5	20°F to 240°F	B18	0°C to 100°C	B30	0°C to 250°C & 30°F to 480°F	B80
0°F to 200°F & -20°C to 90°C	B6	0°F to 250°F	B19	-20°C to 120°C	B31	0°C to 50°C & 30°F to 120°F	B81
20°F to 240°F & -5°C to 115°C	B7	50°F to 300°F	B20	0°C to 150°C	B32	-20°C to 60°C & -4°F to 140°F	B85
0°F to 250°F & -20°C to 120°C	B8	50°F to 400°F	B21	0°C to 200°C	B33	-	-
50°F to 300°F & 10°C to 150°C	B9	50°F to 550°F	B22	0°C to 300°C	B34	-	-
50°F to 400°F & 10°C to 200°C	B10	150°F to 750°F	B23	0°C to 450°C	B35	-	-
50°F to 500°F & 10°C to 260°C	B11	0°F to 800°F	B24	100°C to 550°C	B36	-	-
150°F to 750°F & 70°C to 400°C	B12	200°F to 1,000°F	B25	0°C to 500°C	B39	-	-
200°F to 1,000°F & 100°C to 550°C	B13	14°F to 140°F	B38	-10°C to 60°C	B40	-	-
14°F to 140°F & -10°C to 60°C	B37	-	-	100°C to 400°C	B41	-	-
32°F to 212°F & 0°C to 100°C	B52	-	-	100°C to 540°C	B42	-	-
32°F to 140°F & 0°C to 60°C	B84	-	-	-30°C to 70°C	B45	-	-
-	-	-	-	20°C to 120°C	B46	-	-
-	-	-	-	-70°C to 170°C	B47	-	-
-	-	-	-	0°C to 120°C	B48	-	-
-	-	-	-	0°C to 400°C	B49	-	-
-	-	-	-	0°C to 250°C	B50	-	-
-	-	-	-	20°C to 60°C	B51	-	-
-	-	-	-	0°C to 60°C	B82	-	-

Other ranges, stem lengths and connection sizes available upon request. For glycerin fill, maximum temperature limit is 300°F (150°C).

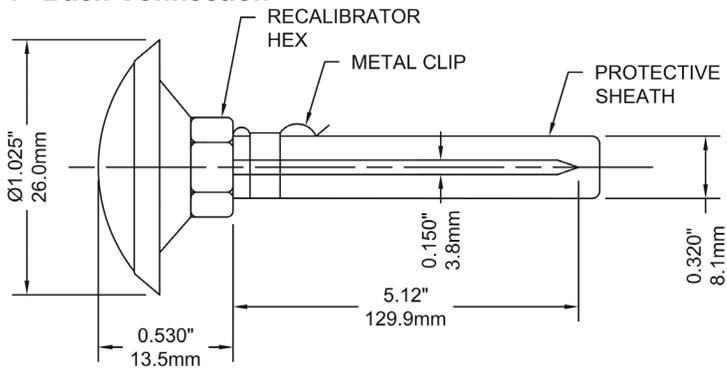
Silicone fill available.

**Option suffix for above order code only:**

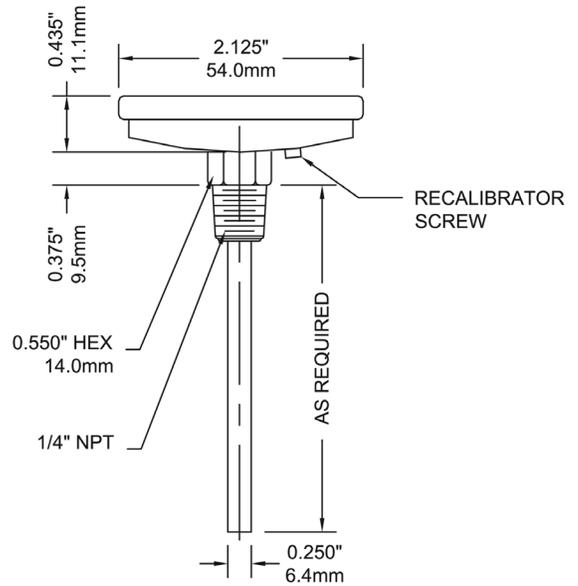
- |                                  |                                   |   |
|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| AP3 = 3" (75mm) acrylic lens     | BG4 = 4" (100mm) glycerin filling | SPG3 = 3" (75mm) Shatterproof glass lens  |
| AP4 = 4" (100mm) acrylic lens    | BG5 = 5" (127mm) glycerin filling | SPG4 = 4" (100mm) Shatterproof glass lens |
| AP5 = 5" (127mm) acrylic lens    | BG6 = 6" (150mm) glycerin filling | SPG5 = 5" (127mm) Shatterproof glass lens |
| AP6 = 6" (150mm) acrylic lens    | DUCT = Aluminum duct flange       | SPG6 = 6" (150mm) Shatterproof glass lens |
| BG3 = 3" (75mm) glycerin filling | SCK = Socket conversion kit       |   |

Note: The use of a thermowell is recommended to protect the thermometer from corrosive or damaging environments, as well as to maintain a closed system during its removal from the process

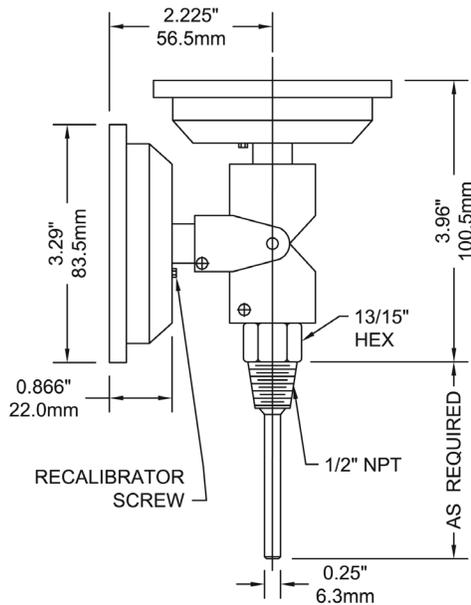
### 1" Back Connection



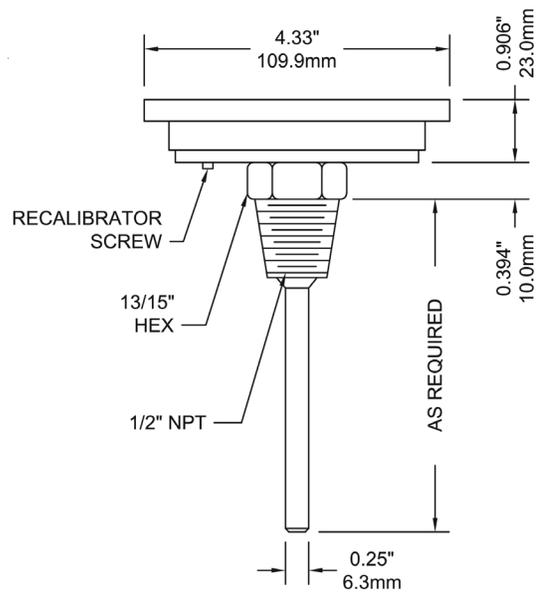
### 2" Back Connection



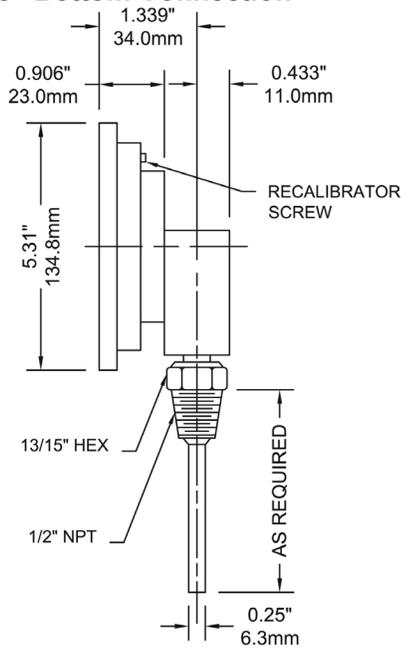
### 3" Adjustable Angle Connection



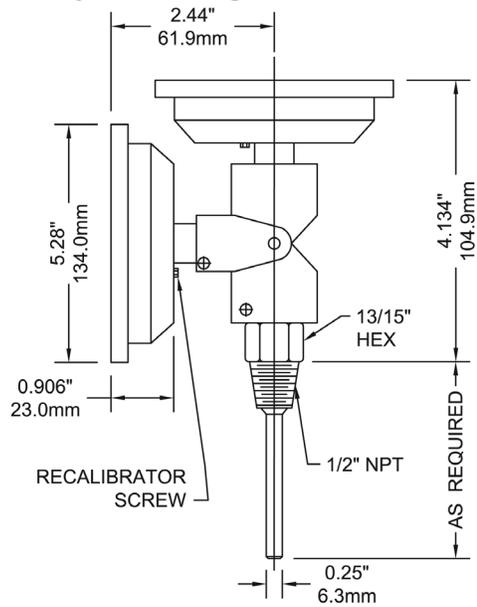
### 4" Back Connection



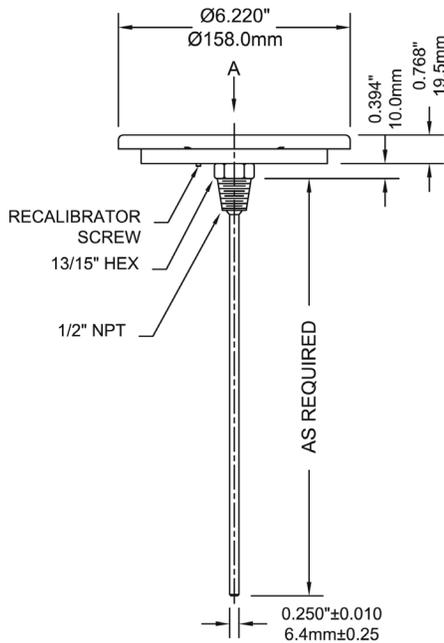
### 5" Bottom Connection



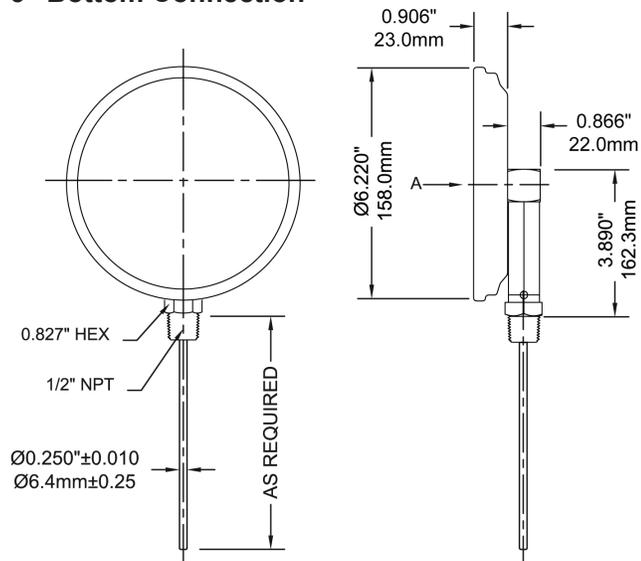
### 5" Adjustable Angle Connection



### 6" Back Connection



### 6" Bottom Connection



# COSTOS

<b>MATERIALES</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Material</b>	<b>Precio</b>
Alargar Patas	Canales 600	\$10,88
Instalar Serpentín	Platinas 700x25	\$1,09
Quitar Caja lateral y parchar	Parche	\$2,18
Instalar orejas en tapa	Orejas	\$2,18
Fabricar Agitador	Torta, eje y platinas	\$15,63
Instalar Couplin para Termocupla	Couplin	\$2,45
Fabricar Prensa estopa	Barra perforada 50x25	\$2,07
Pintura	Pintura epóxica	\$65,29
<b>TOTAL MATERIALES</b>		<b>\$101,77</b>

<b>ACCESORIOS</b>			
<b>Accesorio</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>
Codo ½ in.	\$1,50	3	\$4,50
Neplo perdido ½ in.	\$0,48	3	\$1,44
Neplo 3½ x ½ in.	\$1,00	3	\$3,00
Bushing 1 - ½ in.	\$0,48	2	\$0,96
Bushing ¾ - ½ in.	\$0,48	1	\$0,48
Válvula de esfera ½ in.	\$6,00	3	\$18,00
Válvula de compuerta 3 in.	\$65,00	1	\$65,00
Manómetro	\$5,85	1	\$5,85
Termocupla	\$30,00	1	\$30,00
Manguera PE	\$26,00	1	\$26,00
Tapones 3/8 in.	\$0,86	2	\$1,72
Sello mecánico ¾ in.	\$25,00	1	\$25,00
Aislante térmico (rollo 2 in)	\$54,00	1	\$54,00
Empaque 6 mm	\$34,00	2	\$68,00
<b>TOTAL ACCESORIOS</b>			<b>\$303,95</b>

Proyecto

P2016-003 BIORREACTOR

ENATIN SA

Actividades	HH						Materiales		Total
	Armado	\$	Soldadura	\$	Pintura	\$	Descripción	\$	
Alargar Patas	6	57.13	1	108.82			Canales 600	10.88	\$ 176.83
Instalar Serpentín	6	57.13	1	108.82			Platinas 100x40	1.09	\$ 167.04
Quitar Caja lateral y parchar	2	19.04	1	108.82			Parche	2.18	\$ 130.04
Quitar soporte lateral con ángulo	1	9.52							\$ 9.52
Instalar orejas en tapa	1	9.52	0.5	54.41			Orejas	2.18	\$ 66.11
Fabricar Agitador	5	47.61	0.5	54.41			Torta y platinas	1.63	\$ 103.65
Instalar Malla	2	19.04							\$ 19.04
Instalar Couplin para Termocupla	1	9.52	1	108.82			Couplin	2.45	\$ 120.79
Fabricar Prensa estopa	10	95.22	1	108.82			Barra perforada 50x25	2.07	\$ 206.10
Granallado					6	52.23			\$ 52.23
Pintura					4	34.82	Pintura Epoxica	65.29	\$ 100.11
Ensamble final	8	76.17							\$ 76.17
Prueba Hidrostática	10	95.22							\$ 95.22



**Enatin S.A. – Construcciones Industriales**  
RUC: 0990294909001  
Dirección: Av. Pascuales Km. 16 ½ Vía Daule, Guayaquil,  
Ecuador  
Teléfonos: +593 (4) 5000100 – 6001981 – 6001982 Ext  
[108]  
Móvil: +593 (9) 91721573  
Sitio Web: <http://www.enatin.com> Twitter:  
<http://twitter.com/enatinsa> Facebook:  
<http://www.facebook.com/enatin> Youtube:  
<http://www.youtube.com/enatinsa>  
e-mail: [planificacion@enatin.com](mailto:planificacion@enatin.com)



Sub total		\$ 1,322.86
Indirectos	20%	\$ 264.57
Utilidad	20%	\$ 264.57
<b>Presupuesto Global</b>		<b>\$ 1,852.00</b>
Iva	12%	\$ 222.24
<b>TOTAL CONSTRUCCION</b>		<b>\$ 2,074.24</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>		<b>\$ 2,479.96</b>

Cronograma de trabajo

Actividades	01-Feb	02-Feb	03-Feb	04-Feb	05-Feb
Alargar Patas					
Instalar Serpentín					
Quitar Caja lateral y parchar					
Quitar soporte lateral con ángulo					
Instalar orejas en tapa					
Fabricar Agitador					
Instalar Malla					
Instalar Couplin para Termocupla					
Fabricar Prensa estopa					
Granallado					
Pintura					
Ensamble final					

	Armado	Armador + Ayudante
	Soldadura	Soldador + Ayudante
	Pintura	Pintor + Ayudante

# PLANIFICACION

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	12 oct '15							26 oct '15		09 nov '15					
					M	S	X	D	J	L	V	M	S	X	D				
1		<b>MATERIA INTEGRADORA SEGUNDO TERMINO 2015-2016</b>	94 días	sáb 17/10/15															
2		Selección de tema	9 días	mar 20/10/15															
3		Medicion de Autoclave y Dibujo en 3D	3 días	lun 26/10/15															
4		Definicion de problema y objetivos	5 días	lun 09/11/15															
5		Entrega y correccion de primer avance (Problemas y Objetivos)	1 día	lun 16/11/15															
6		Elaboracion de Cronograma	1 día	sáb 17/10/15															
7		Investigacion de Marco Teorico	6 días	mar 17/11/15															
8		Elaboracion de capitulo 1 Marco Teorico	6 días	lun 30/11/15															
9		Investigacion Capitulo 2	4 días	lun 07/12/15															
10		Elaboracion del 50% del capitulo 2	2 días	jue 10/12/15															
11		<b>Entrega de Avance Fase Intermedia</b>	<b>1 día</b>	<b>lun 14/12/15</b>															
12		Trabajos de Modificacion de Autoclave	20 días	mar 15/12/15															
13		<b>Presentacion de Avance de Proyecto</b>	<b>1 día</b>	<b>lun 21/12/15</b>															

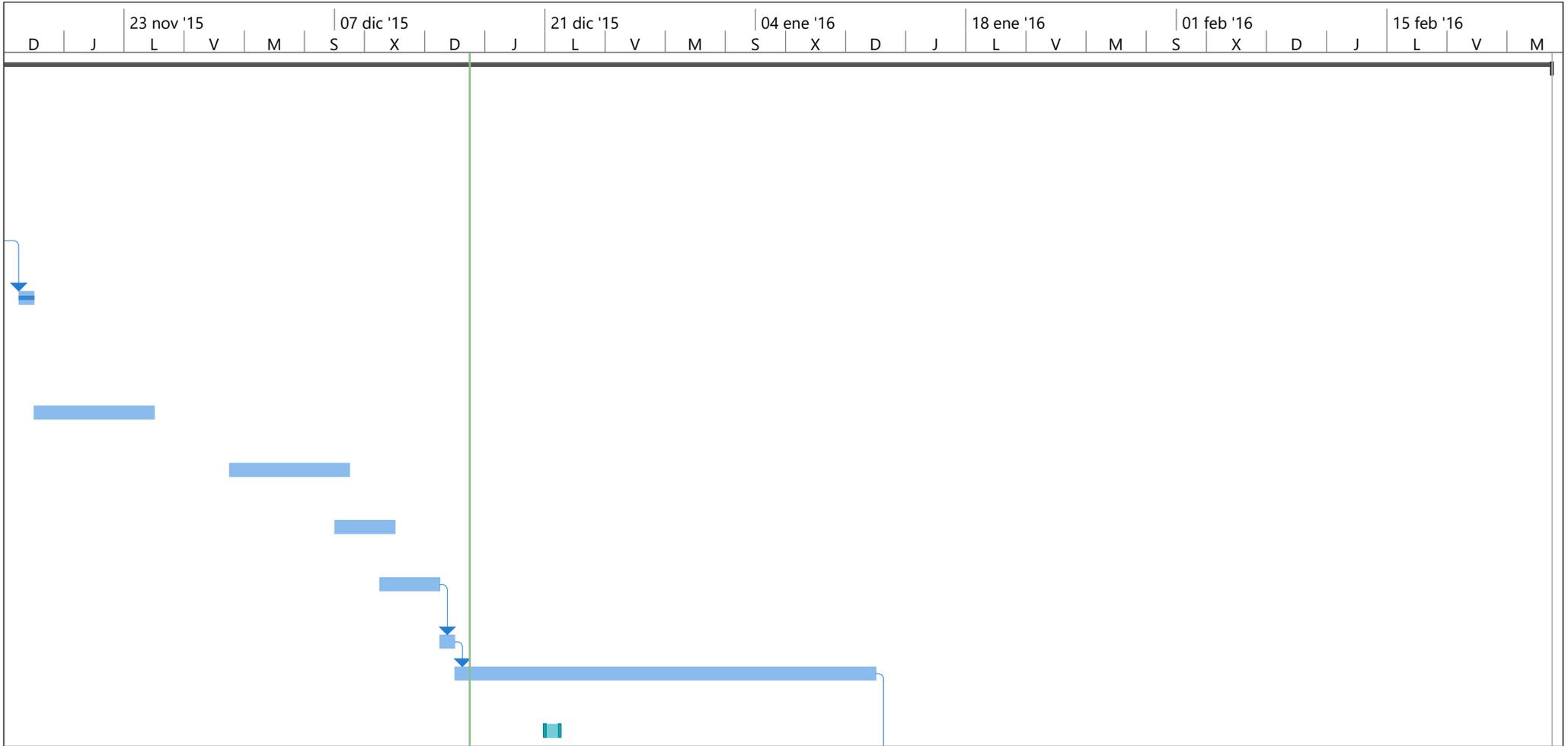
Proyecto: Materia Integradora  
Fecha: mié 16/12/15

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			

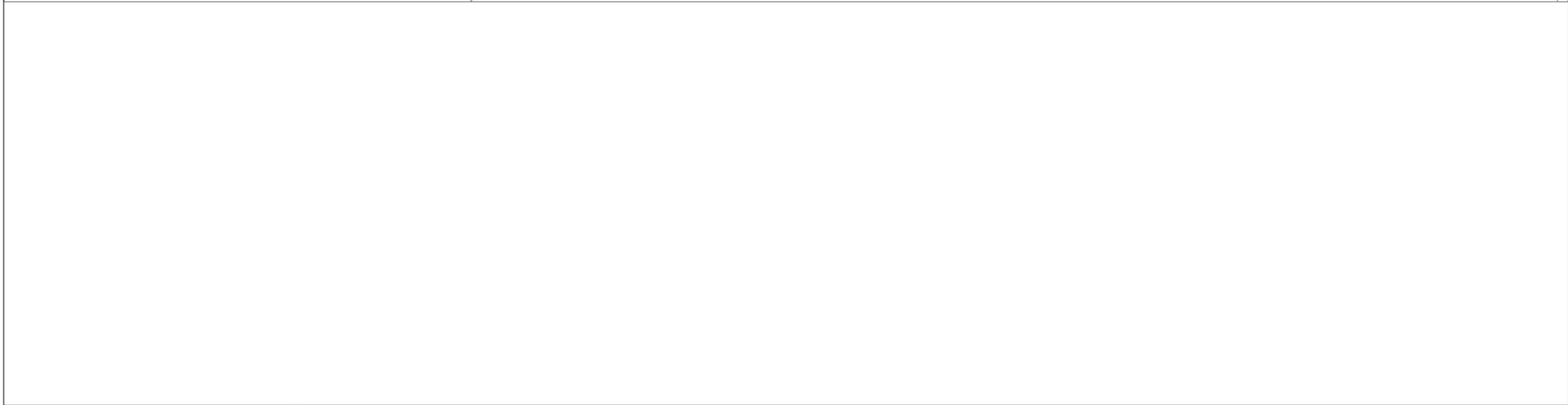
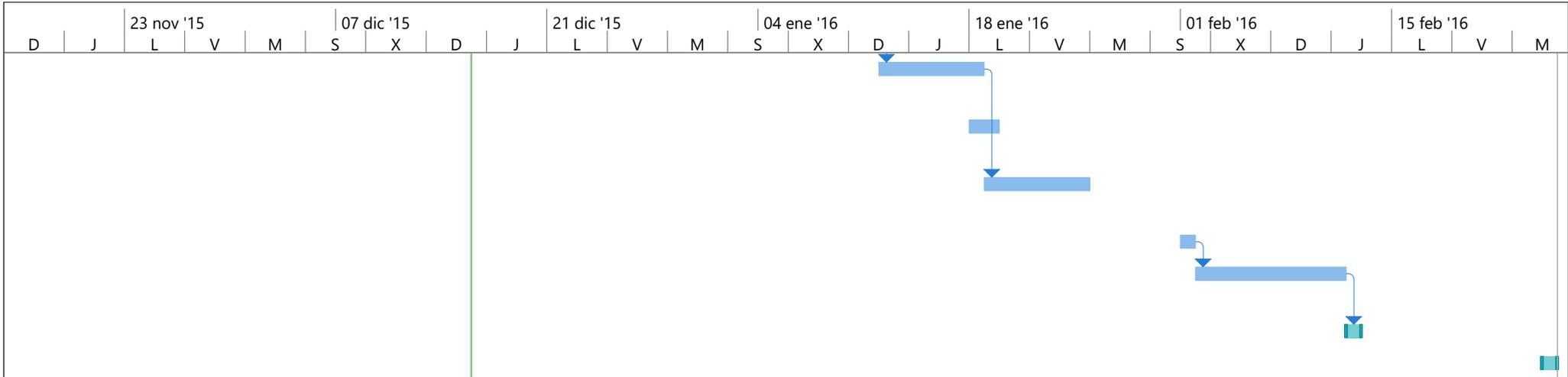
Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	12 oct '15					26 oct '15			09 nov '15			
					M	S	X	D	J	L	V	M	S	X	D	
14		Simulacion de Operación de Autoclave	5 días	mar 12/01/16												
15		Analisis de Resultados	2 días	lun 18/01/16												
16		Redaccion de Capitulo 3	5 días	mar 19/01/16												
17		<b>Presentacion de Poster</b>	<b>1 día</b>	<b>lun 01/02/16</b>												
18		Redaccion de Capitulo 4	8 días	mar 02/02/16												
19		<b>Entrega del documento final</b>	<b>1 día</b>	<b>vie 12/02/16</b>												
20		<b>Presentacion Final</b>	<b>1 día</b>	<b>jue 25/02/16</b>												

Proyecto: Materia Integradora  
Fecha: mié 16/12/15

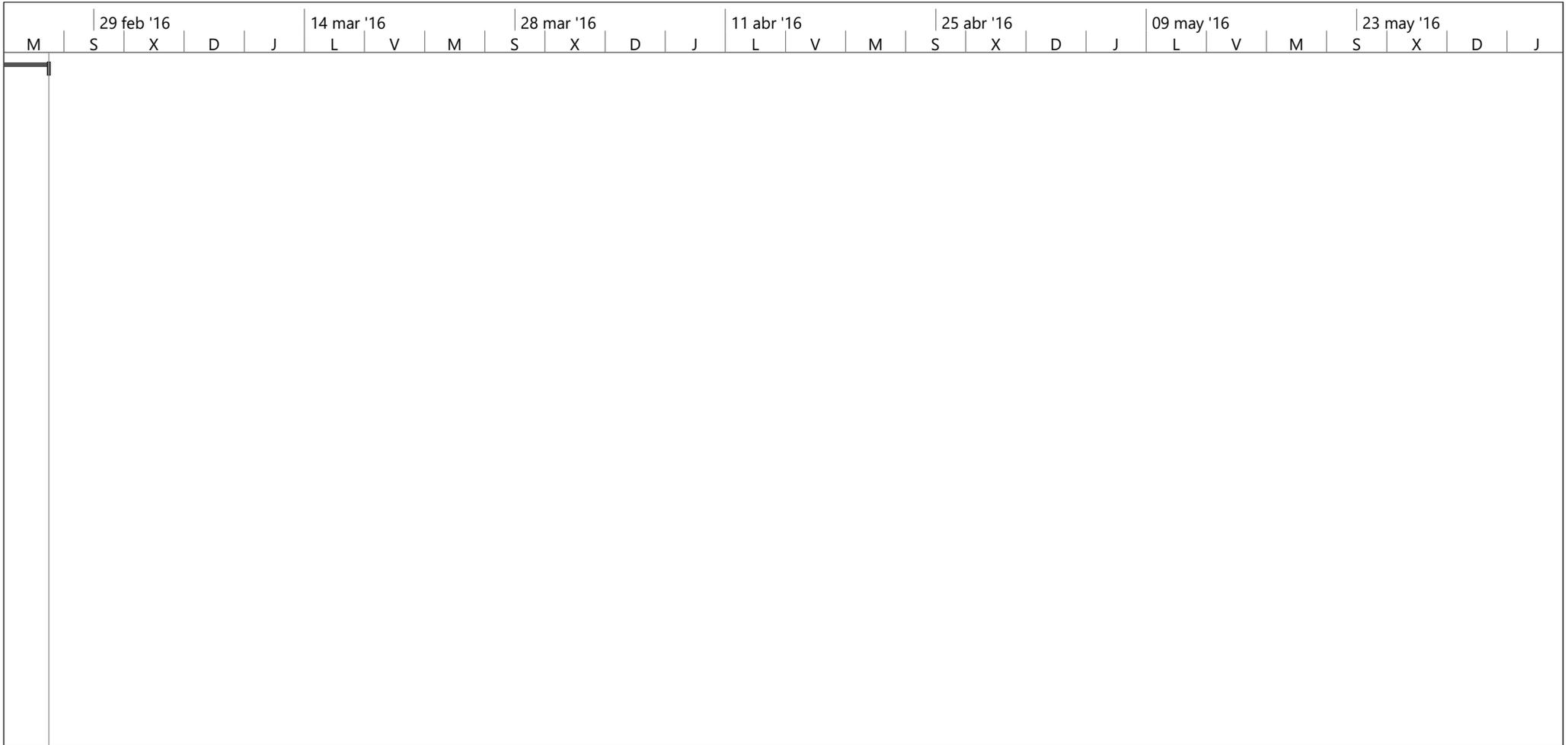
Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin			



Proyecto: Materia Integradora Fecha: mié 16/12/15	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

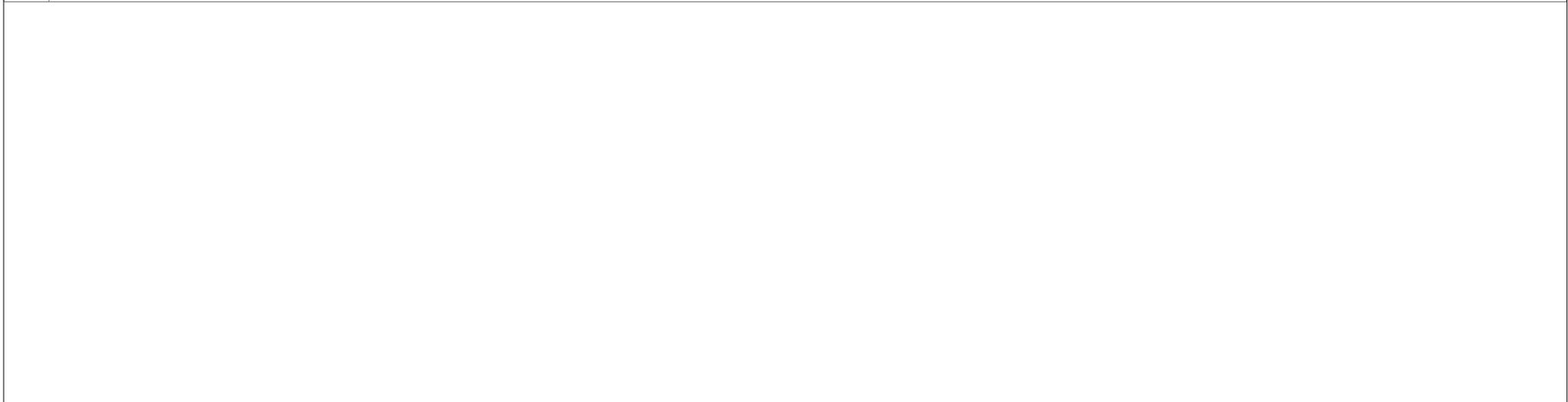


Proyecto: Materia Integradora Fecha: mié 16/12/15	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			



Proyecto: Materia Integradora Fecha: mié 16/12/15	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

	29 feb '16				14 mar '16			28 mar '16				11 abr '16				25 abr '16				09 may '16			23 may '16			
M	S	X	D	J	L	V	M	S	X	D	J	L	V	M	S	X	D	J	L	V	M	S	X	D	J	



Proyecto: Materia Integradora Fecha: mié 16/12/15	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			