

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA UN
FOTOBIOREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO**

**CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO
DIANA KATHERINE GUZMAN SILVA**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2016**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA UN
FOTOBIOREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO**

**CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO
DIANA KATHERINE GUZMAN SILVA**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
Diego Rubio
Biólogo**

**Co-director
Juan Andrés Sandoval
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá, Septiembre de 2016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrectoría de Desarrollo y Recursos humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director de Investigaciones

Ing. ARMANDO FERNÁNDEZ CÁRDENAS

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas, expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a:

A Dios, por guiarme y apoyarme en este camino, por levantarme en las veces que he caído, aconsejarme en las dudas que se me presentaron, sin él nunca hubiera llegado a este sitio.

A mis papas, por su apoyo y consejo en los momentos más difíciles en mi vida, porque son un ejemplo de vida y aprendí de ellos a nunca rendirme, siempre los llevo en mi corazón.

A mis hermanas Lili y Pao, por acompañarme en este proceso y ser una guía en mi vida, han sido una gran motivación para esforzarme y ser igual de fuertes a ellas.

A mi familia, en especial a mi tío Pedro que sin su ayuda nada de esto sería posible y siempre creyó en mí.

A Diana, por estar conmigo en las buenas y en las malas, gracias por apoyarme y darme la mano en los momentos más difíciles.

Por último, a mis amigos por ser los mejores amigos del mundo, por el apoyo, las risas y tiempo compartido durante toda esta carrera.

Cristian Miguel Gutiérrez Cuervo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado, a Dios por estar presente en todos los momentos de mi vida, iluminándome el camino con su protección y bendición.

A mis padres, quienes con su apoyo incondicional y esfuerzo durante todos estos años, me ayudaron a desarrollarme en todos los aspectos de mi vida, han sido mi guía y la base fundamental de mi existencia, gracias por enseñarme a ser perseverante y luchar para lograr mis sueños e ideales, el logro hoy alcanzado es también de ustedes, resultados de sus esfuerzos, sacrificios y el tiempo invertido en mí.

A mi hermano quien siempre estuvo ahí apoyándome y acompañándome en cada momento difícil, mi eterna compañía y cómplice de hazañas.

A mi abuelita mi segunda madre, quien con sus consejos y su voz de aliento fueron mi sustento en los momentos de debilidad. Mi guía y fortaleza en cada paso de mi vida.

A Cristian por creer en mí y darme todo su apoyo durante la carrera, quien con sus conocimientos, me guio y acompañó en este proyecto, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, gracias por ser mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A todos mis amigos, muchas gracias por estar conmigo todo este tiempo, donde he vivido momentos felices y tristes, gracias por ser mis amigos y siempre los llevare en mi corazón.

A los profesores que han logrado sembrar la semilla del conocimiento para convertirme en una gran profesional que le aporte un granito de arena para el desarrollo del país.

Diana Katherine Guzmán Silva.

AGRADECIMIENTOS

Para desarrollar este proyecto, contamos con la ayuda de varias personas y entidades que hicieron posible cumplir con el objetivo de este proyecto y que estuvieron presentes durante la mayor parte del desarrollo del proyecto, por lo cual expresamos nuestra gratitud a todos ellos.

En primer lugar, queremos agradecer a Dios, por darnos la sabiduría y la fuerza para poder seguir nuestro camino y acompañarnos durante todo este tiempo.

A nuestros padres por apoyarnos durante todo este tiempo, sin su apoyo nada de esto sería una realidad y hoy pueden estar orgullosos de todo ese esfuerzo que nos dieron.

A la Universidad de América, por prestarnos sus instalaciones y formarnos durante todo este tiempo para ser profesionales de alta calidad, acercándonos aún más al futuro que siempre soñamos.

A Diego Rubio, biólogo, director de esta investigación, por confiar siempre en nosotros y guiarnos en el transcurso de este proyecto, el cual fue muy importante para poder creer en nosotros.

A Juan Andrés Sandoval Herrera, Ingeniero químico, profesor de la Universidad de América y co-director de esta investigación, quien nos orientó y apoyo en el transcurso del proyecto.

A los profesores de la Universidad de América, los cuales con sus enseñanzas han permitido guiarnos durante toda esta carrera.

A nuestros amigos quienes siempre estuvieron ahí, en las buenas y en las malas, y que juntos cumplimos el mismo sueño.

Y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron durante el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	21
1. MARCO TEORICO	22
1.1 MICROALGAS	22
1.1.1 Definición	22
1.1.2 Curva de crecimiento	22
1.1.3 Parámetros de cultivo	23
1.1.3.1 Luz	23
1.1.3.2 Temperatura	24
1.1.3.3 Nutrientes	24
1.1.3.4 pH	24
1.1.3.5 Mezclado	24
1.2 FOTOBIORREACTOR AIRLIFT	24
1.2.1 Generalidades	24
1.2.2 Clasificación	25
1.2.3 Ventajas del fotobiorreactor Air-lift	26
1.2.4 Fotobiorreactor Air-lift escala laboratorio	26
1.3 TIPOS DE SISTEMA	27
1.3.1 Sistema batch	27
1.3.2 Sistema continuo	28
1.3.2.1 Quimiostato	28
1.3.2.2 Turbidostato	31
1.4 MONITOREO Y CONTROL	32
2. METODOLOGIA	34
2.1 SELECCIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO	34
2.1.1 Categorización	34
2.1.2 Variables de diseño	34
2.2 PROPUESTAS DE DISEÑO	34
2.2.1 Especificaciones de las propuestas de diseño	34
2.2.2 Cálculos de diseño	35
2.2.2.1 Flujos de entrada y salida del fotobiorreactor	35
2.2.2.2 Diámetro de la manguera	36
2.2.2.3 Tiempo de retención en los tanques	37
2.2.2.4 Potencias de las bombas	38

2.3 PLANOS DEL SISTEMA CONTINUO	39
2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PARTES DEL SISTEMA CONTINUO	40
3. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	41
3.1 SELECCIÓN DE VARIABLES	41
3.2 PROPUESTAS DE DISEÑO	43
3.2.1 Especificaciones de las propuestas de diseño	43
3.2.1.1 Primera propuesta	43
3.2.1.2 Segunda propuesta	44
3.2.2 Cálculos de diseño	44
3.2.2.1 Flujos de entrada y salida del fotobiorreactor	44
3.2.2.2 Diámetro de la manguera	46
3.2.2.3 Tiempo de retención y especificaciones de los tanques	47
3.2.2.4 Potencias de las bombas	47
3.2.2.5 Ventajas y desventajas de las propuestas de diseño	49
3.3 PLANOS DEL FOTOBIORREACTOR EN SISTEMA CONTINUO	50
3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PARTES DEL SISTEMA CONTINUO	50
3.4.1 Flujos de entrada y salida del fotobiorreactor	50
3.4.1.1 Válvulas	50
3.4.1.2 Bombas	51
3.4.2 Diámetro de la manguera	51
3.4.2.1 Mangueras	51
3.4.3 Tanques	52
3.4.4 Otros	52
3.4.4.1 Accesorios	52
3.4.4.2 Soporte de los tanques	52
3.4.4.3 pH-metros	53
4. CONCLUSIONES	55
5. RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXOS	62

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Ecuaciones para el flujo de salida del fotobiorreactor	35
Tabla 2. Ecuaciones del flujo de entrada	36
Tabla 3. Ecuaciones de la relación diámetro estrés celular	36
Tabla 4. Ecuaciones del tiempo de retención de los tanques	37
Tabla 5. Ecuaciones de la potencia de la bomba	38
Tabla 6. Variables especificadas para los tipos de sistema	41
Tabla 7. Datos de variables del fotobiorreactor	42
Tabla 8. Condiciones de cultivo	42
Tabla 9. Velocidad de crecimiento	45
Tabla 10. Flujo de salida del fotobiorreactor	45
Tabla 11. Densidades y flujos de entrada del fotobiorreactor	46
Tabla 12. Diámetro y estrés celular	46
Tabla 13. Dimensiones de los tanques	47
Tabla 14. Potencia de las bombas de carga y descarga para las dos propuestas	48
Tabla 15. Velocidad de crecimiento específica	67
Tabla 16. Datos obtenidos del laboratorio para la densidad	68
Tabla 17. Densidad de la biomasa y medio de cultivo	68
Tabla 18. Datos obtenidos en el laboratorio y los valores de la viscosidad cinemática y dinámica	71
Tabla 19. Viscosidad promedio de biomasa y medio de cultivo	72
Tabla 20. Coeficiente de resistencia para accesorios y válvulas	73
Tabla 21. Valores de k_1 y k para cálculo de coeficientes de resistencia	73
Tabla 22. Trabajo de cizalla y velocidad de deformación de cizalla.	78
Tabla 23. Costos de válvulas tipo bola	79
Tabla 24. Costos de bombas peristálticas	79
Tabla 25. Costos de mangueras	81
Tabla 26. Costos de tanques	81
Tabla 27. Costos de accesorios.	82
Tabla 28. Costos de los soportes	82
Tabla 29. Costos de los pH-metros.	83

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Sistemas del fotobiorreactor Air-lift y sus componentes	27
Cuadro 2. Productividad volumétrica en diferentes fotobiorreactores	27
Cuadro 3. Ventajas y desventajas de los modos de operación	28
Cuadro 4. Productividad volumétrica en sistemas continuos	30
Cuadro 5. Equipos y métodos de monitoreo para microalgas	32
Cuadro 6. Parámetros comunes y tipos de control	33
Cuadro 7. Tipos de válvula, usos, ventajas y desventajas	50
Cuadro 8. Usos, ventajas y desventajas entre métodos de medición de pH	53
Cuadro 9. Categoría sistema Batch.	62
Cuadro 10. Categoría Sistema continuo	63

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Curvas de crecimiento	23
Figura 2. Esquema de un reactor Air-lift	25
Figura 3. Tipos de reactores Air-lift	25
Figura 4. Fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio	26
Figura 5. Esquema de un quimiostato	29
Figura 6. Esquema de un turbidostato	31
Figura 7. Puntos de cálculo y zonas del sistema continuo 1	39
Figura 8. Propuesta de diseño para sistema continuo 1	43
Figura 9. Propuesta de sistema continuo 2	44
Figura 10. Conexión sensor de pH	54
Figura 11. Sistema continuo en un fotobiorreactor	64
Figura 12. Sistema continuo biorreactor	65

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Flujo de salida	35
Ecuación 2. Tasa de dilución	35
Ecuación 3. Flujo de entrada	36
Ecuación 4. Densidad	36
Ecuación 5. Numero de Reynolds	36
Ecuación 6. Trabajo de cizalla (válvula, entradas, salidas y accesorios)	36
Ecuación 7. Trabajo de cizalla (tubería)	36
Ecuación 8. Trabajo de cizalla sistema	37
Ecuación 9. Velocidad de deformación de cizalla	37
Ecuación 10. Tiempo de retención	37
Ecuación 11. Volumen de operación	37
Ecuación 12. Volumen total	37
Ecuación 13. Radio del tanque	37
Ecuación 14. Altura del tanque	37
Ecuación 15. Altura de operación	37
Ecuación 16. Volumen máximo	37
Ecuación 17. Potencia de la bomba	38
Ecuación 18. Peso específico	38
Ecuación 19. Carga total de la bomba	38
Ecuación 20. Velocidad del flujo	38
Ecuación 21. Área transversal del flujo	38
Ecuación 22. Factor de fricción flujo laminar	38
Ecuación 23. Perdidas en la tubería	38
Ecuación 24. Perdidas menores	38
Ecuación 25. Viscosidad cinemática	38
Ecuación 26. Viscosidad dinámica	38
Ecuación 27. Factor de fricción flujo laminar	38
Ecuación 28. Coeficiente de pérdida de fricción válvulas y accesorios	38
Ecuación 29. Coeficiente de pérdida de fricción (tubería)	38
Ecuación 30. Coeficiente de pérdida de fricción (adaptador)	38
Ecuación 31. Ecuación general de balance	64
Ecuación 32. Balance de biomasa general para un sistema continuo	64
Ecuación 33. Balance de biomasa simplificada	65
Ecuación 34. Balance de biomasa simplificada para un sistema continuo	65

Ecuación 35. Balance de materia para el fotobiorreactor
Ecuación 34. Flujo de entrada para el sistema continuo

66
66

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Tablas de categorización	62
Anexo B. Balances de masa	64
Anexo C. Cálculos de flujos de entrada y salida	67
Anexo D. Cálculos de los tanques de almacenamiento	69
Anexo E. Cálculos de la potencia de las bombas	70
Anexo F. Calculos de trabajo de cizalla	78
Anexo G. Cotizaciones	79
Anexo H. Planos del sistema	111

ABREVIATURAS

FBR ARL: Fotobiorreactor Air-lift.

Ca: Calcio.

Mg: Magnesio.

S: Azufre.

Fe: Hierro.

K: Potasio.

N: Nitrógeno.

P: Fosforo.

F_{in} : Flujo de entrada al fotobiorreactor.

V_L : Volumen de operación. .

μ : Velocidad específica de crecimiento.

τ : Tiempo de retención.

D: Tasa de dilución.

F_{out} : Flujo de salida del fotobiorreactor.

ρ_{in} : Densidad de entrada al fotobiorreactor.

ρ_{out} : Densidad de salida del fotobiorreactor.

P_{lleno} : Picnómetro lleno.

P_{vacio} : Picnómetro vacío.

$V_{picnómetro}$: Volumen del picnómetro.

ρ_x : Densidad de entrada o de salida del fotobiorreactor.

t_{fu} : Tiempo de retención en los tanques.

V_{Total} : Volumen total.

R: Radio.

k: Relación altura – diámetro.

H: Altura.

$H_{operación}$: Altura de operación.

F_x : Flujo de entrada o de salida del fotobiorreactor

ρ_x : Densidad de entrada o de salida del fotobiorreactor.

ν_x : Viscosidad cinemática.

t : Tiempo que se demora el líquido para fluir entre las marcas de referencia.

t_{HC} : Tiempo de corrección de energía cinemática.

η_x : Viscosidad dinámica.

γ : Peso específico del fluido.

g: Gravedad de la tierra.

h_a : Carga total sobre la bomba.

P_1 : Presión manométrica en el punto 1.

v_1 : Velocidad del fluido en el punto 1

z_1 : Elevación del punto 1.

h_1 : Pérdida total de energía por unidad de peso del fluido en movimiento.
 P_2 : Presión manométrica en el punto 2.
 v_2 : Velocidad del fluido en el punto 2.
 z_2 : Elevación del punto 2.
 h_1 : Pérdida en la salida del tanque de almacenamiento.
 h_2 : Pérdida de energía en la tubería en la entrada de la bomba (línea de succión).
 h_3 : Pérdidas de energía en la válvula.
 h_4 : Pérdida de energía en por codos.
 h_5 : Pérdida de energía en la tubería en la salida de la bomba (línea de descarga).
 h_6 : Pérdida de energía en la entrada al fotobiorreactor.
 h_n : Pérdidas de energía por ficción.
 K : Coeficiente de resistencia.
 D_x : Diámetro interno de la manguera.
 A_t : Área transversal de la manguera.
 P_o : Potencia de la bomba.
 c_x : Concentración de biomasa en el fotobiorreactor
 f_t : Factor de fricción.
 R_e : Número de Reynolds.
 $c_{x,in}$: Concentración de entrada al fotobiorreactor.
 $c_{x,out}$: Concentración de salida del fotobiorreactor.
 v : Velocidad de flujo.
 W_s : Trabajo de cizalla para accesorios.
 k_f : Coeficiente de resistencia.
 W_{st} : Trabajo de cizalla en la tubería.
 W : Trabajo de cizalla total.
 γ_{avg} : Velocidad de deformación de cizalla.
 $V_{m\acute{a}x}$: Volumen máximo de los tanques.
 $V_{op.ftb}$: Volumen de operación del fotobiorreactor.
 $V_{op.bio}$: Volumen de operación de los tanques.
 k_1 : Constante del coeficiente para accesorio.
 k_{∞} : Constante del coeficiente para accesorio.
 D_1 : Diámetro antes del adaptador.
 D_2 : Diámetro después del adaptador.

RESUMEN

En el presente trabajo de grado tiene como objetivo realizar una propuesta de diseño de un sistema continuo a un fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio, para cumplir este objetivo, se realizó una recopilación de datos en trabajos de grado, artículos y textos acerca de las variables de diseño que se han manejado, de las cuales las variables que se priorizaron fueron el flujo de entrada y salida, el diámetro de la manguera, el tiempo de retención de los tanques de almacenamiento y la potencia de las bombas.

El método matemático que se utilizó para solucionar variables como los flujos y la potencia de las bombas fueron mediante los balances de masa y energía, que permiten relacionar estas variables con valores ya definidos para este sistema; como resultado además de solucionar estas variables de diseño, permitió definir y delimitar las diferentes partes y componentes del sistema continuo.

Palabras claves: Microalgas, sistema continuo, diseño, variables de diseño, balances de masa, balances de energía.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo hace parte del grupo de investigación BIOTECFUA de la Fundación Universidad de América, este grupo ha utilizado la microalga *Chlorella vulgaris* con el fin de obtener metabolitos como azúcares y lípidos. Debido a esto, la línea de investigación cuenta con un fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio para el cultivo de las microalgas, además se han realizado diferentes investigaciones para observar la influencia de algunos parámetros de cultivo como temperatura, iluminación, nutrientes, entre otros. No obstante, hasta el momento solo se han realizado estas investigaciones en sistema de lotes o batch.

Por lo tanto, este proyecto tiene como objetivo proponer un diseño de un sistema continuo para un fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio, con el fin de que futuros estudiantes puedan investigar el comportamiento de la microalga en un sistema continuo. El proceso de diseño se desarrolló en tres etapas, en primer lugar se realizó un revisión de literatura con el objetivo de apropiarse los conocimientos necesarios y abordar el problema del diseño de un sistema continuo tanto para este tipo de fotobiorreactores como para el microorganismo. Luego se planteó dos propuestas de diseño del sistema con los accesorios necesarios para su funcionamiento, posterior a esto se desarrolló los cálculos de cada una de las propuestas con el fin de dimensionar los tanques y mangueras, además de definir tiempos de retención, fuerza de cizalla y variables relacionadas con la operatividad del sistema continuo, finalmente se realizó cotizaciones de cada uno de los elementos y componentes necesarios en el sistema, se analizó sus ventajas y desventajas teniendo en cuenta los requerimientos de hermeticidad y esterilidad para este tipo de procesos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer un diseño de un sistema continuo a un fotobiorreactor air-lift a escala laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir y seleccionar las variables y parámetros de diseño para un FBR ARL a escala laboratorio.
- Establecer los valores de diseño para las variables seleccionadas.
- Desarrollar los planos del fotobiorreactor air-lift a escala laboratorio en sistema continuo.
- Clasificar las partes y componentes necesarios para un FBR ARL en modo continuo con base en su disponibilidad en el mercado nacional y sus costos.

1. MARCO TEORICO

1.1 MICROALGAS

1.1.1 Definición. Las microalgas son organismos unicelulares microscópicos que poseen clorofila y pigmentos los cuales le dan la capacidad de realizar la fotosíntesis; son consideradas como candidatas prometedoras para una gran variedad de aplicaciones que van desde el uso de la biomasa hasta la producción de componentes con un alto valor¹.

En la línea de investigación BIOTECFUA la especie que se ha manejado es la *Chlorella vulgaris*, se caracteriza por ser una microalga eucariota, unicelular, esférica cuyo tamaño es de 2 a 10 micras, se puede encontrar en medios marinos, en agua dulce o en suelos encharcados², además posee ventajas con respecto a otra clase de microalgas debido a su bajo costo, su fácil adquisición y su mayor resistencia a cambios de temperatura, pH, luz y mezclado.

La posibilidad de aumentar la productividad y mantener una calidad de estos productos hacen necesario la implementación de un sistema continuo³, no obstante, el diseño de este tipo de sistemas se debe tener en cuenta las condiciones y requerimientos que la microalga necesita para crecer con un mayor rendimiento, una de las principales condiciones que se debe controlar es la esterilidad en todo el sistema, en consecuencia, se tendrán que incorporar equipos e instrumentos o métodos que mantengan estas condiciones.

1.1.2 Curva de crecimiento. Un microorganismo inoculado en un medio de cultivo tiene la capacidad de crecer poblacional como individualmente. Si se hace seguimiento al cultivo por medio de conteo celular o un método indirecto y se grafica logarítmicamente la concentración de células vs el tiempo, se obtendrá como resultado una curva de crecimiento. Esta curva de crecimiento presenta las diferentes etapas que pasa un microorganismo en un medio de cultivo, no obstante esta varía con el tipo de sistema, por ejemplo en un sistema discontinuo se presenta las etapas de latencia, exponencial, estacionaria y muerte como se presenta en la figura 1a; mientras que en un sistema continuo se prolonga la fase exponencial

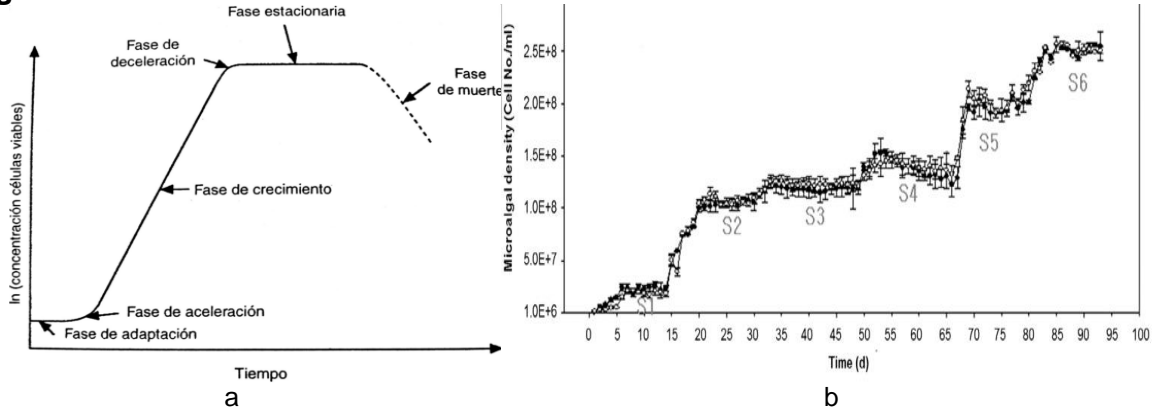
¹ FERNANDES, Bruno D., et al. Continuous cultivation of photosynthetic microorganisms: Approaches, applications and future trends. En: *Biotechnology Advances*. 11/1. vol. 33, no. 6, Part 2, p. 2 .

² CHICA CARDONA, Claudia Rocío; PARRA HERNÁNDEZ, Mónica Patricia y RUBIO, Diego. Obtención De Ácidos Grasos Producidos a Partir De Biomasa Producida De Microalgas *Chlorella* a Escala Laboratorio. Bogotá, D. C.: Fundación Universidad de América, 2011., p. 26.

³ HO, Shih-Hsin, et al. Perspectives on engineering strategies for improving biofuel production from microalgae — A critical review. En: *BIOTECHNOLOGY ADVANCES*. 12.vol. 32, no. 8, p. 1.

siempre y cuando se siga alimentando y se mantengan las condiciones para el crecimiento del microorganismo figura 1b.

Figura 1. Curvas de crecimiento



Fuente. a. DORAN, Pauline M. y GARCÍA LABIANO, Francisco J. Principios De Ingeniería De Los Bioprosos. España: Acribia, 1995. ISBN 8420008532, p. 290, b. CHO, Dae-Hyun, et al. Influence of limiting factors on biomass and lipid productivities of axenic *Chlorella vulgaris* in photobioreactor under chemostat cultivation. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. 22 marzo del 2016.vol. 211, p. 367.

Por otro lado la información que se puede obtener de esta curva es la velocidad de crecimiento específico, necesaria para el sistema continuo. Esta información se puede obtener por medio del análisis de las pendientes de cada fase, por lo tanto, la fase de latencia μ tiene un valor prácticamente de 0, en la fase exponencial la pendiente es igual a $\mu_{\text{máx.}}$, en la fase estacionaria $\mu=0^4$.

1.1.3 Parámetros de cultivo. Los parámetros de cultivo para la microalga *Chlorella vulgaris* han sido determinadas por trabajos de investigación de la línea, estos son importantes para el crecimiento del microorganismo, debido a que están relacionadas directamente o indirectamente con el metabolismo de la microalga, si no se aporta la cantidad de luz, los nutrientes, la temperatura y pH, en el medio donde estará el microorganismo, esta crecerá lentamente y en extremas condiciones morirá.

1.1.3.1 Luz. Es un factor fundamental para realizar la fotosíntesis en la microalga se debe tener en cuenta la intensidad lumínica la cual está relacionada con el nivel de la saturación de la microalga, la longitud de onda que es de color rojo y el fotoperiodo (12h/12h)⁵.

⁴ DORAN, Op., cit., p. 290.

⁵ GÓMEZ PORTILA, Leidy Jhoana y RUBIO, Diego. Evaluación De La Producción De Azúcares En Cultivos De Microalgas (*Chlorella Vulgaris*) a Nivel Laboratorio, Sometidos a Diferente Fotoperiodo y Concentraciones De Hierro. Bogotá D.C.: Fundación Universidad América, 2014, p. 17.

1.1.3.2 Temperatura. Si se maneja temperaturas optimas se necesitan menos nutrientes y aumenta las velocidades de reacción metabólicas; el rango óptimo de temperatura para la *Chlorella vulgaris* es de 18°C a 25°C⁶.

1.1.3.3 Nutrientes. Los nutrientes son utilizados por la microalga para varios procesos celulares como la transferencia de energía, hacer parte de las coenzimas y cofactores, además de formar parte de algunas estructuras celulares. Estos nutrientes se encuentran en el medio de cultivo utilizado por la línea de investigación llamado foliagro que es un fertilizante líquido utilizado en la agricultura que está compuesto por los micronutrientes (Ca, Mg, S, K, Fe) y macronutrientes (N y P) necesarios para la microalga *Chlorella vulgaris*.

1.1.3.4 pH. El crecimiento fotosintético y la absorción de nitrógeno hacen que el pH aumente por lo cual se requiere inyección de aire o CO₂ para controlarlo.

1.1.3.5 Mezclado. Tiene la función de distribuir homogéneamente las células, nutrientes, el calor, la exposición a la luz y la transferencia de gases.

Estos parámetros influyen en el crecimiento de la microalga, así mismo a la velocidad de crecimiento específico, este último es uno de los conceptos en los que se basa el funcionamiento y el diseño de un sistema continuo. Mientras que parámetros como temperatura, luz y mezclado están relacionados directamente con el fotobiorreactor y el sistema de control de este equipo, para la adicción de nutrientes es necesaria de otros equipos como tanques de almacenamiento.

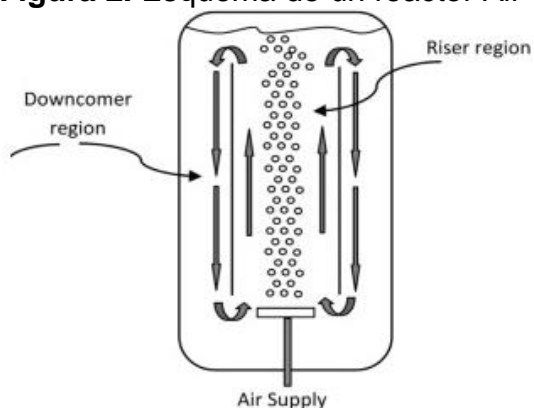
1.2 FOTOBIORREACTOR AIR-LIFT

1.2.1 Generalidades. El reactor Air-lift es un reactor que consta de dos tubos en los cuales se inyecta un gas al medio, lo que origina una mezcla líquido – gas que asciende en la zona conocida como riser. En la parte superior el gas se separa del medio el cual desciende por gravedad en la zona conocida como downcomer y nuevamente ingresa al riser formando un ciclo de mezclado al medio⁷.

⁶ CALDERÓN CARDOZO, Sara María; RAMÍREZ LASPRILLA, Diana Emperatriz y RUBIO, Diego. Evaluación De La Influencia Lumínica Sobre Producción De Biomasa y Lípidos a Partir De *Chlorella vulgaris* En Un Fotobiorreactor De Panel Plano a Escala Banco. Bogotá, D.C.: Fundación Universidad de América, 2013, p.25.

⁷ VILLADSEN, John; NIELSEN, Jens y LIDEN, Gunnar. Design of Fermentation Processes. En: Springer US. Bioreaction Engineering Principles. 13 de Junio de 2011, p. 443.

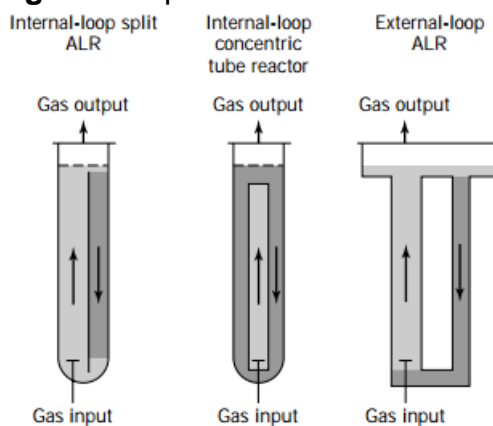
Figura 2. Esquema de un reactor Air-lift



Fuente. AL-MASHHADANI, Mahmood., et al; Airlift bioreactor for biological applications with microbubble mediated transport processes. En: CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE. 12/1.vol. 137, p. 243.

1.2.2 Clasificación. Los reactores Air-lift se pueden dividir en dos tipos principales de acuerdo a su tipo de estructura: reactores de bucle externos, en el cual la circulación toma lugar por conductos separados y distintos; y reactores de bucle internos, en el cual los conductos se colocan de una manera estratégica dentro de un mismo recipiente para crear los flujos que permitan la circulación, sin embargo, estos diseños se pueden modificar, permitiendo variaciones en la dinámica de los fluidos⁸.

Figura 3. Tipos de reactores Air-lift



Fuente. MERCHUK, JC y GARCIA CAMACHO, F. Bioreactors: airlift reactors. En: ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY, p. 320.

⁸ MERCHUK, JC y GARCIA CAMACHO, F. Bioreactors: airlift reactors. En: ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY, p. 320.

1.2.3 Ventajas del fotobiorreactor Air-lift. Las ventajas que tiene el fotobiorreactor Air- con respecto a los fermentadores tradicionales están en que proporciona los principales requerimientos que necesita un microorganismo: agitación, buen mezclado de nutrientes, reducción de daños por adición de bases o ácidos, mayor facilidad en la transferencia de calor y un menor riesgo de contaminación⁹.

1.2.4 Fotobiorreactor Air-lift escala laboratorio. En la línea de investigación Biotecfua, se ha construido y operado un fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio de cilindros concéntricos, el cual funciona en sistema de lotes o batch para la producción de microalgas.

Figura 4. Fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio



Fuente. CRUZ PARRADO, Ana María; POVEDA ZAMBRANO, Jessika Jhojana y RUBIO BIÓLOGO, Diego. Implementación De La Mejora Operacional Del Fotobiorreactor Airlift Para La Producción De Biomasa Microalgal. Bogotá, D.C.: Fundación Universidad de América, 2014, p. 60.

El fotobiorreactor tiene como estructura base cilindros compuestos por el riser, downcomer y un tercer cilindro donde se encuentra el sistema de iluminación, además posee sistema de monitoreo para la temperatura, iluminación, presión y mezclado, de los cuales la temperatura e iluminación presentan también un sistema de control. El funcionamiento de estos sistemas se lleva a cabo mediante sensores, temporizadores, termostatos y bombas que se comunican con el sistema de adquisición de datos, conformado por una tarjeta Arduino, la cual se encuentra en la base del fotobiorreactor.

⁹ Ibid., p. 32.

Cuadro 1. Sistemas del fotobiorreactor Air-lift y sus componentes

Parámetro	Componentes del sistema
Temperatura	Sensor DS18B20 y Termostato Xilong® AT-700 de 25W
Presión	Sensor MPX5700DP y
Aireación	Bomba Penn-Plax/ airPod
Iluminación	Sensor GY-30, 4 tiras de LED rojo 12V y Tronex® temporizador digital modelo 15150

Fuente. CAICEDO, Laura y RODRIGUEZ, Sergio. OBTENCIÓN DE BIOMASA Y AZUCARES REDUCTORES A PARTIR DE MICROALGAS PRODUCIDAS EN UN FOTOBIORREACTOR AIRLIFT A ESCALA LABORATORIO. Bogotá: Fundación Universidad de América, 2016, p 57

Este sistema no cuenta con instrumento de medición o seguimiento de pH durante el crecimiento de la microalga en el fotobiorreactor.

1.3 TIPO DE SISTEMA

1.3.1 Sistema batch. Es un tipo de sistema en el cual no hay corrientes de entrada ni de salida; en este tipo de sistema se disponen los nutrientes, el medio de cultivo y el inóculo en un volumen fijo y al transcurrir un determinado tiempo se obtiene un producto de valor agregado¹⁰.

En la actualidad la producción en masa de microalgas en general se ha realizado en sistema batch, en consecuencia, la investigación se ha tornado acerca de este tipo de sistema; en el cuadro 1 se puede evidenciar las diferentes productividades para cada fotobiorreactor, en el cual el fotobiorreactor Air-lift presenta una productividad entre 1,2 y 1,9 gL⁻¹ d⁻¹, siendo uno de los fotobiorreactores con mayor productividad para este tipo de operación, sin embargo, estas productividades son bajas si se quiere pensar en el rendimiento para estos procesos, además otros factores como los altos costos de la cosecha y la variabilidad de la calidad del producto hacen que este tipo de sistema no sea la mejor opción¹¹.

Cuadro 2. Productividad volumétrica en diferentes fotobiorreactores

Fotobiorreactores	Volumen (L)	Especie	Productividad (gL ⁻¹ d ⁻¹)
Airlift tubular	200	<i>Porphyridium cruentum</i>	1,5
Airlift tubular	200	<i>Phaeodactylum tricormutum</i>	1,2
Airlift tubular	200	<i>Phaeodactylum tricormutum</i>	1,9
Inclined tubular	6,0	<i>Chlorella Sorokiniana</i>	1,47
Ondular row tubular	11	<i>Arthrospira Platensis</i>	2,7

¹⁰ NAJAFPOUR, Ghasem D. CHAPTER 5 - Growth Kinetics. En: NAJAFPOUR, Ghasem D. Biochemical Engineering and Biotechnology. Amsterdam: Elsevier, 2007, p 83. ISBN 9780444528452

¹¹ FERNANDES, Op., cit., p.2.

Cuadro 2. (Continuación)

Fotobiorreactores	Volumen (L)	Especie	Productividad (gL⁻¹d⁻¹)
Outdoor helical tubular	75	<i>Phaeodactylum tricormutum</i>	1,4
Parallel tubular (AGM)	25000	<i>Haenatococcus pluvialis</i>	0,05
Buble-column	55	<i>Haenatococcus pluvialis</i>	0,06
Flat plate	440	<i>Nannochloropsis sp</i>	0,27

Fuente. UGWU, C. U., AOYAGI, H., UCHIYAMA, H. Photobioreactors for mass cultivation of algae. En: Bioresource Technology. Vol., 99. No 10 (Jul, 2008); p. 4026.

1.3.2 Sistema continuo. Cultivo continuo en el cual se incorporan corrientes de entrada y de salida (se agrega medio fresco y se retira el exceso de células del recipiente de fermentación); una de las principales ventajas con respecto al cultivo batch es que la densidad celular, concentración de sustrato y producto permanecen constante durante el tiempo¹².

Cuadro 3. Ventajas y desventajas de los modos de operación

Modo de operación	Ventajas	Desventajas
Batch	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser utilizado para diferentes reacciones cada día. • Fácil esterilización, bajo riesgo de infección o mutación. • Es posible la completa conversión del sustrato. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo laboral alto. • Alto tiempo de inactividad. • Problemas de seguridad.
Continuo en estado estable	<ul style="list-style-type: none"> • No se frena la producción del compuesto deseado. • Se puede sistematizar. • Se obtiene una calidad constante del producto. • Trabaja todo el tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibles infecciones por falta de esterilidad. • No es flexible.

Fuente. VILLADSEN, John; NIELSEN, Jens y LIDEN, Gunnar. Design of Fermentation Processes. En: Springer US. Bioreaction Engineering Principles. 13 de junio de 2011, p 384.

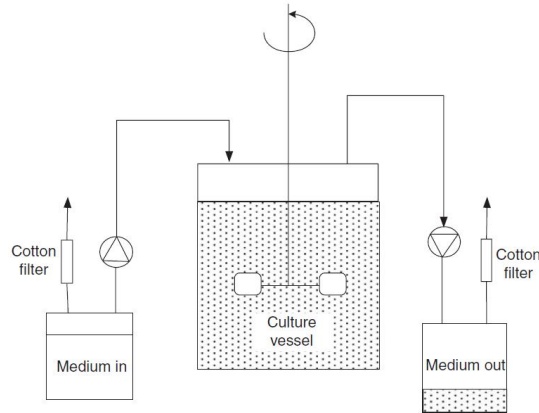
Hay dos métodos comunes para la producción de cultivos continuos de microalgas: el quimiostato y turbidostato, ambos son de sistema abierto.

1.3.2.1 Quimiostato. Es un tipo de sistema continuo en el cual el medio de cultivo entra al fotobiorreactor a un flujo constante, determinado por la tasa de dilución y por lo tanto densidad celular se mantiene constante, entre sus características se encuentra:

¹² Ibid.,p.84.

- Mantiene un volumen constante en el biorreactor.
- La capacidad de manipular la velocidad específica de crecimiento por un tiempo determinado, por medio de la tasa de dilución y la concentración de nutriente limitante.
- La tasa de dilución es constante.
- El sistema llega al estado estacionario, donde se encuentra una concentración constante de nutrientes, células y producto.

Figura 5. Esquema de un quimiostato



Fuente. NAJAFPOUR, Ghasem D. CHAPTER 5 - Growth Kinetics. En: NAJAFPOUR, Ghasem D. Biochemical Engineering and Biotechnology. Amsterdam: Elsevier, 2007, p. 87

Para la operación es importante el manejo de la tasa de dilución puesto a que si se emplea una velocidad de dilución baja habrá muerte celular debido a que los nutrientes no llegan rápido a una parte de la población celular por lo que causa su muerte, mientras que si se usa una tasa de dilución muy alta hay lavado de células en el biorreactor.

Este tipo de sistema se ha utilizado para varias investigaciones con microalgas, tal es el caso de la investigación de Romdhane¹³ realizado en Francia quienes evaluaron la influencia de la concentración de los nutrientes y la recirculación de biomasa en el crecimiento celular en un sistema continuo para fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio, donde se concluyó que si se controla la cantidad de nutrientes que usa el sistema se puede disminuir los costos a gran escala, por otro

¹³ ROMDHANE, F., et al. Development and validation of a minimal growth medium for recycling *Chlorella vulgaris* culture. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. 1 de agosto del 2012.vol. 123, p. 366

lado la investigación de Dae-Hyun Cho et.al¹⁴ realizo una experimentación variando los parámetros de cultivo en un sistema continuo para aumentar la concentración de lípidos en la microalga *Chlorella vulgaris*, el sistema continuo se usó a partir del séptimo día después de la inoculación del microorganismo en el biorreactor, este trabajo concluye que lograron aumentar 5 veces la productividad del cultivo y es posible mejorar la productividad por medio de la variación de la tasa de dilución y los nutrientes limitantes. Otros autores que han manejado sistemas continuos como Hoskisson y Hobbs¹⁵ mencionan que los quimiostatos son usados como herramientas de investigación. En el cuadro 3, se presenta otros trabajos donde se han usado sistemas continuos y sus respectivas productividades volumétricas.

Cuadro 4. Productividad volumétrica en sistemas continuos

Especie	Productividad de Biomasa (g/L día)	Volumen(L)	Referencia
<i>C. vulgaris</i>	2,11	0,5	Fu et al. (2012) ¹⁶
<i>Chlorella zofingiensis</i>	2,27	1,65	Imaizumi et al. (2014) ¹⁷
	2,2	0,113	Ma et al. (1997) ¹⁸
<i>Botryococcus braunii</i>	1,5	0,5	Khatri et al. (2014) ¹⁹
<i>C. vulgaris</i> OW-01	1,06	4	Dae-Hyun Cho (2016) ²⁰

Fuente. CHO, Dae-Hyun, et al. Influence of limiting factors on biomass and lipid productivities of axenic *Chlorella vulgaris* in photobioreactor under chemostat cultivation. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. 22 marzo del 2016.vol. 211, p.367

¹⁴ CHO, Dae-Hyun, et al. Influence of limiting factors on biomass and lipid productivities of axenic *Chlorella vulgaris* in photobioreactor under chemostat cultivation. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. 22 marzo del 2016.vol. 211, p.367

¹⁵ HOSKISSON, P. y HOBBS, G. Continuous culture- making a comeback? En: MICROBIOLOGY. 1 octubre 2005.vol. 151, p. 3153

¹⁶ FU, et al. Maximizing biomass productivity and cell density of *Chlorella vulgaris* by using light-emitting diode-based photobioreactor. En: J. BIOTECHNOL. vol. 161, p. 242-249.

¹⁷ IMAIZUMI, Y. et al. Estimation of optimum specific light intensity per cell on a high-cell-density continuous culture of *Chlorella zofingiensis* not limited by nutrients or CO. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. vol. 162, p. 53-59.

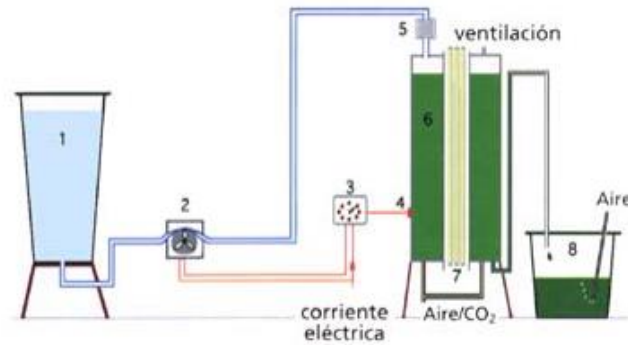
¹⁸ MA, X. et al. Growth of *Chlorella* outdoors in a changing light environment. En: APPL. PHYCOL. vol. 9, p. 425-430

¹⁹ KHATRI, W. et al. Hydrocarbon production in high density *Botryococcus braunii* race B continuous culture. En: BIOTECHNOL.BIOENG. vol. 111, p. 493-503

²⁰ CHO, Op., cit., p.367.

1.3.2.2 Turbidostato. Es un Tipo de sistema continuo el cual tiene como objetivo mantener la concentración de células constantes a través del control de la turbidez del medio mediante el ajuste de la velocidad del medio fresco.

Figura 6. Esquema de un turbidostato



Fuente. HELM, M. M., BOURNE, N. y LOVATELLI, A. Cultivo De Bivalvos En Criadero. [Electrónico]. [Consultado el 02/15/2016]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/y5720s/y5720s07.htm>

El turbidostato se basa en el empleo de un sensor óptico que activa la bomba de suministro de medio al biorreactor, dependiendo del grado de turbidez del medio. A mayor concentración de células en el medio, mayor turbidez, por lo cual la velocidad de dilución es variable durante el tiempo y así mismo la composición química del medio a diferencia de un quimiostato.

Trabajos de investigación como el de Lee y Shen²¹ quienes realizaron un turbidostato como sistema continuo para el cultivo de microalgas concluyeron que para este tipo de microorganismos los quimiostatos pueden llegar a ser inestables, esto también lo reafirmo la investigación de Tang et al.²² en donde se menciona que para las microalgas se tiende a usar el turbidostato, sin embargo a diferencia de lo que mencionan estos autores se ha reportado que se han usado más los quimiostatos debido a que el control de un turbidostato son más complicados, esto lo enuncia Sandnes et al.²³ en su investigación.

²¹ LEE, Y. y SHEN H. Basic culturing techniques. En: HANDBOOK OF MICROALGAL CULTURE: BIOTECHNOLOGY AND APPLIED PYCOLOGY. p. 40

²² TANG, Haiying. et al. Continuous microalgae cultivation in a photobioreactor. En: BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING. 4 mayo del 2012. vol. 109, p. 2468

²³ SANDNES, J., et al. Real-time monitoring and automatic density control of large-scale microalgal cultures using near infrared (NIR) optical density sensors. En: JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY. Marzo 23 del 2006. vol. 122, p. 209

1.4 MONITOREO Y CONTROL

Debido a que en este tipo de sistema las condiciones deben ser constantes, se tendrá en cuenta un seguimiento de los parámetros durante la etapa de cultivo, las aplicaciones de monitoreo y controles automáticos permiten automatizar un proceso; además desde el punto de vista económico permite la disminución de costos operativos y una mayor calidad de producto²⁴.

El monitoreo de parámetros para microalgas se pueden dividir en tres tipos de clases: físicos, químicos y biológicos; permitiendo determinar parámetros de cultivos tales como el rendimiento fotosintético y la tasa de crecimiento²⁵.

Cuadro 5. Equipos y métodos de monitoreo para microalgas

PARAMETROS	METODOS DE MONITOREO	
	Sensor/Técnica	En línea/Fuera de línea
pH	pH-metro	En línea
Densidad de flujo de fotones	Sensor cuántico	En línea
O ₂	Sonda de O ₂	En línea
	Analizador de O ₂	En línea
	Analizador de CO ₂	En línea
Concentración de biomasa	Espectrofotómetro	Fuera de línea
	Peso seco (horno)	Fuera de línea
	Conteo de células	Fuera de línea
	Sensor de densidad óptica (NIR)	En línea
	Sonda de turbidez	En línea
Propiedades de la biomasa	Fluorometría	Fuera de línea
Composición de la biomasa	Cromatografía de gases	Fuera de línea
	Citometría de flujo	Fuera de línea
	Precipitación por solventes	Fuera de línea

Fuente. FERNANDES, Bruno D., et al. Continuous cultivation of photosynthetic microorganisms: Approaches, applications and future trends. En: BIOTECHNOLOGY ADVANCES. 11/1.vol. 33, no. 6, Part 2, p. 8. Modificado por los autores.

²⁴ FERNANDES, Bruno D., et al. Continuous cultivation of photosynthetic microorganisms: Approaches, applications and future trends. En: BIOTECHNOLOGY ADVANCES. 11/1.vol. 33, no. 6, Part 2, p. 7-8.

²⁵ HAVLIK, Ivo, et al. On-line monitoring of large cultivations of microalgae and cyanobacteria. En: TRENDS IN BIOTECHNOLOGY. 7.vol. 31, no. 7, p. 406-414

Trabajos como el de Lívanský²⁶ y Meiser²⁷ explican el monitoreo de parámetros como el pH, densidad de flujo de fotones, oxígeno y concentración de biomasa en sistemas continuos.

Para el control de microalgas en sistema continuo se pueden utilizar controles por retroalimentación o de alimentación directa, el control por retroalimentación mide una variable controlada a la salida y la compara con un valor de referencia, lo que permite cambiar la variable manipulada con el fin de aproximar la variable controlada con el valor de referencia, mientras que el control por alimentación directa se maneja mediante modelos matemáticos, los que permiten evaluar el estado actual, predecir los resultados e implementar acciones que permitan que el sistema funcione en un estado predeterminado. En este tipo de sistema de control se manejan mediante variables que son independientes y manipulables (inyección de CO₂, tasa de dilución, intensidad de la luz, etc.) las cuales se toman como las variables de control²⁸.

Cuadro 6. Parámetros comunes y tipos de control

Parámetro dependiente	Variable de control	Tipo de control
pH	Caudal del CO ₂	Feedback
		Feedback y feedforward
	Control acido/base	Feedback
	Medio equilibrado	Feedback
Concentración de biomasa	Velocidad de dilución	Feedback
		Feedback y feedforward
	Intensidad de luz	Feedback
	Intensidad de luz y CO ₂	Feedback y feedforward
Composición de biomasa	Velocidad de dilución	Las variables de control controlan la composición de la biomasa, pero esto no es automático.
	Intensidad de luz	
	CO ₂	
	Limitación de nitrógeno	

Fuente. FERNANDES, Bruno D., et al. Continuous cultivation of photosynthetic microorganisms: Approaches, applications and future trends. En: BIOTECHNOLOGY ADVANCES. 11/1.vol. 33, no. 6, Part 2, p. 9

²⁶ LÍVANSKÝ, Karel, et al. CO₂ partial pressure–pH relationships in the medium and relevance to CO₂ mass balance in outdoor open thin-layer *Arthrospira* (*Spirulina*) cultures. En: ARCHIV FÜR HYDROBIOLOGIE. vol. 165, no. 3, p. 365-381

²⁷ MEISER, Andreas; SCHMID-STAIGER, Ulrike y TRÖSCH, Walter. Optimization of eicosapentaenoic acid production by *Phaeodactylum tricornutum* in the flat panel airlift (FPA) reactor. En: JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY. vol. 16, no. 3, p. 215-225

²⁸ FERNANDES, Op., Cit., p. 9.

2. METODOLOGIA

Para el presente proyecto, la metodología que se sigue es teórica, se realizara mediante la recopilación de datos de trabajos de grados, artículos y textos científicos en los cuales tengan información acerca de nuestro tema, tiene como objetivo proponer un diseño de sistema continuo a un fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio.

2.1 SELECCIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO

2.1.1 Categorización. Se clasifico la información recopilada en libros, artículos y trabajos de grado en dos grupos, en el primer grupo se obtuvo la información acerca las variables de diseño y condiciones de cultivo para un fotobiorreactor en sistema batch, mientras que en el segundo grupo se agrupo la misma información para un fotobiorreactor en sistema continuo. Esto se realiza con el fin de identificar las variables de diseño para los dos tipos de sistema, es decir, las variables con las cuales los autores de la información recopilada realizaron los respectivos sistemas, posterior a esto se analizó si algunas variables estaban relacionadas con los dos sistemas, debido a que como se sabe en la línea de investigación ya tiene un fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio que se maneja en sistema de lotes, por lo cual se necesitan aquellas variables que sean exclusivas del funcionamiento del fotobiorreactor en sistema continuo.

2.1.2 Variables de diseño. Para las variables de diseño se seleccionaron solo unas variables específicas debido a que la valoración de todas las variables implicadas en el sistema continuo es muy compleja, además se tuvo en cuenta que algunas de estas variables ya han sido establecidas en trabajos anteriores, teniendo en cuenta lo anterior, se clasifico estas variables en variables geométricas y del proceso. Mientras que las variables geométricas están relacionadas con las dimensiones, capacidades y forma de los equipos, las variables del proceso determinan el uso y condiciones a las que se necesita operar el sistema, estos dos tipos de variables son necesarias para la formulación de las propuestas de diseño.

2.2 PROPUESTAS DE DISEÑO

El proceso de diseño consistió en plantear dos propuestas de sistemas continuos con el fin de proponer el diseño definitivo para el fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio, la propuesta final se seleccionó mediante un análisis cualitativo, teniendo en cuenta factores como la fácil esterilización y mantenimiento del sistema y un análisis cualitativo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos con las variables de diseño, las ventajas y desventajas entre cada propuesta.

2.2.1 Especificaciones de las propuestas de diseño. Se describió cada una de las propuestas de diseño con sus accesorios y partes, además se realizaron planos para identificar los equipos necesarios para este tipo de sistema.

2.2.2 Cálculos de diseño. Los cálculos de diseño se manejaron de acuerdo a las variables de diseño, es decir, se tomó cada variable y se explicó la metodología de cálculo para cada una.

2.2.2.1 Flujos de entrada y de salida del fotobiorreactor. Para calcular los flujos de entrada y de salida del fotobiorreactor se necesita relacionar estas variables con datos obtenidos en trabajos de grado anteriores. Los balances de masa permiten además de la solución de las variables del diseño, tener en cuenta las condiciones en las cuales la microalga pueda crecer, evitando una condición de lavado en el sistema continuo.

- **Flujo de salida del fotobiorreactor.** Para calcular el flujo de salida del fotobiorreactor se tiene que relacionar datos acerca de la biomasa de la microalga *Chlorella vulgaris* con esta variable, en la tabla 1 se observa la ecuación 1, la cual se llega a partir del balance de biomasa, el procedimiento se encuentra en el anexo B.

Tabla 1. Ecuaciones para el flujo de salida del fotobiorreactor

NÚMERO	VARIABLE A MEDIR	ECUACIÓN
Ecuación 1	Flujo de salida	$F_{out} = \mu \times V_L .$
Ecuación 2	tasa de dilución	$D = \frac{1}{\tau} = \mu$

Fuente. ABALDE, Julio y [et al.]. Parámetros De Cultivo. En: Universidad de Coruña. Microalgas: Cultivo y Aplicaciones. España: Universidad de da Coruña, 1995. 19-63 p. ISBN 8488301847 DORAN, Pauline M. y GARCÍA LABIANO, Francisco J. Principios De Ingeniería De Los Bioprocesos. España: Acribia, 1995. ISBN 8420008532, p.381, Elaborado por autores.

Se evidencia en la tabla 1, la velocidad específica de crecimiento es un valor a determinar dado que es necesario para poder solucionar el flujo de salida del fotobiorreactor, este valor se toma directamente de la tabla 1 o de la ecuación 2, la cual relaciona el tiempo de retención con la velocidad de crecimiento específico. Mediante la revisión bibliográfica se logra establecer en el estudio realizado por Romdhane y colaboradores, el tiempo de retención de 2,31 días²⁹ el cual sirvió de fundamento para la realización de este trabajo; del mismo modo se encuentra un estudio similar a este trabajo en el cual se tiene valores de la velocidad de crecimiento. Por otro lado, se tomó el volumen de operación del fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio de la Universidad de América, el cual es de 1,6E-03 m³³⁰.

²⁹ ROMDHANE, Op., cit., p.368.

³⁰ CRUZ, Op., cit., p. 60.

- **Flujo de entrada al fotobiorreactor.** El cálculo del flujo de entrada al fotobiorreactor se realizó mediante el balance de masa del sistema relacionando el flujo de entrada con el flujo de salida, el procedimiento se encuentra en el anexo B.

Tabla 2. Ecuaciones del flujo de entrada

NÚMERO	VARIABLE A MEDIR	ECUACIÓN
Ecuación 3	Flujo de entrada	$F_{in} = \frac{\rho_{out} \times F_{out}}{\rho_{in}}$
Ecuación 4	Densidad	$\rho = \frac{P_{lleno} - P_{vacio}}{V_{picnómetro}}$

Fuente. OSORIO, Ruben y ZAPATA, Maria. Práctica 3. Densidades De Líquidos. [Print(0)]. Universidad de Antioquia. 04 de noviembre de 2004. [Consultado el Abril/122016]. Disponible en: <http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslaboratorio/02practicasyaccesorios/practica03.htm>. DORAN, Pauline M. y GARCÍA LABIANO, Francisco J. Principios De Ingeniería De Los Bioprocesos. España: Acribia, 1995. ISBN 8420008532, p.381, Elaborado por autores.

De acuerdo a la tabla 2 se requiere los datos de las densidades de medio de cultivo y de la biomasa. Para la obtención de densidades se empleó la prueba del picnómetro³¹, para lo cual se recolecto 150 mL de biomasa del fotobiorreactor con una concentración de células de 1,795 E07 cel/mL en fase exponencial del fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio.

2.2.2.2 Diámetro de la manguera. El diámetro de manguera fue definido por medio de dos criterios, el primero es la disponibilidad tanto de la manguera en el mercado nacional como la disponibilidad de válvulas y accesorios que manejan estas medidas. El segundo criterio fue la relación del estrés celular con el diámetro, por medio del número de Reynolds, el trabajo de cizalla y la velocidad de deformación en cizalla como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Ecuaciones de la relación diámetro estrés celular

NÚMERO	VARIABLE A MEDIR	ECUACION
Ecuación 5	Numero de Reynolds	$Re = \frac{v \times \rho_x \times D_x}{\eta}$
Ecuación 6	Trabajo de cizalla (válvula, entradas, salidas y accesorios).	$Ws = \frac{k_f \times v^2}{2}$
Ecuación 7	Trabajo de cizalla (tubería)	$Wst = \frac{k_f \times v^2}{2}$

³¹ Ibid., p.1.

Tabla 3. (Continuación)

NÚMERO	VARIABLE A MEDIR	ECUACION
Ecuación 8	Trabajo de cizalla sistema	$W = \sum W_s + \sum W_{st}$
Ecuación 9	Velocidad de deformación de cizalla	$\gamma_{avg} = \frac{2 \times v}{D_x}$

Fuente. STEFFE, James y DAUBERT, Christopher. Ductos y Tuberías Para Bioprocesos: Reología y Análisis. Still Valley Drive: Freeman Press, 2006. 158 p. ISBN 0-9632036-2-2, p.60. Elaborado por los autores.

2.2.2.3 Tiempo de retención en los tanques. Para el tanque de almacenamiento se definió un tiempo de funcionamiento de 15 días, puesto a que investigaciones anteriores que han trabajado con el fotobiorreactor air-lift a escala laboratorio reportan un tiempo entre 10 a 15 días^{32 33 34}, como el periodo en el cual la microalga *Chorella vulgaris* crece. Adicionalmente con el tiempo de retención se define el volumen, el radio y la altura que deben tener los tanques de almacenamiento.

Tabla 4. Ecuaciones del tiempo de retención de los tanques

NÚMERO	VARIABLE A MEDIR	ECUACION
Ecuación 10	Tiempo de retención	$t_{fu} = t. \text{ en dias} \times 86400$
Ecuación 11	Volumen de operación	$V_L = t_{fu} \times F_{in}$
Ecuación 12	Volumen total	$V_{Total} = \frac{V_L}{0,8}$
Ecuación 13	Radio del tanque	$\sqrt[3]{\frac{V_{Total}}{2k\pi}} = R$
Ecuación 14	Altura del tanque	$H = k2R$
Ecuación 15	Altura de operación	$H_{Operación} = \frac{V_L}{R^2 \times \pi}$
Ecuación 16	Volumen máximo	$V_{máx} = V_{op.ftb} + V_{op.bio}$

Fuente. MONTOUTO, Amador. Diseño De Una Planta Piloto Para La Bioconversion Del Glicerol Procedente De La Industria De Los Biocombustibles. España.: Universidad de Cadiz, 2010. p. 134-135. Elaborado por los autores.

Como se observa en la tabla 4 al calcular el tiempo de retención se obtienen también la altura y el volumen de operación, los cuales son valores que se deben conocer para calcular la potencia de la bomba, también con el volumen de operación tanto

³² CAICEDO, Op., cit., p.75.

³³ LÓPEZ RODRÍGUEZ, Tania Lizeth; MALAGÓN MICÁN, Martha Lucía y TORRES CÁRDENAS, Carlos Mauricio. Evaluación De Desempeño Del Fotobiorreactor Airlift Para La Producción De Biomasa y Lipidos a Escala Banco. Bogotá, D.-C.: Fundación Universidad de América, 2013.p.60

³⁴ ROMDHANE, Op., cit., p.368.

del fotobiorreactor como de la biomasa se encuentra el volumen máximo de biomasa que sale del sistema continuo.

2.2.2.4 Potencias de las bombas. Para la potencia de las bombas es necesario tener en cuenta la hidrodinámica del fluido, el flujo y propiedades del fluido como es el caso de la viscosidad.

Tabla 5. Ecuaciones de la potencia de la bomba

NÚMERO	VARIABLE A MEDIR	ECUACIÓN
Ecuación 17	Potencia de la bomba	$P_o = F_x \times \gamma \times h_a$
Ecuación 18	Peso específico	$\gamma = \rho_x \times g$
Ecuación 19	Carga total de la bomba	$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + h_L$
Ecuación 20	Velocidad del flujo	$v_2 = \frac{F_{in}}{A_t}$
Ecuación 21	Área transversal del flujo	$A_t = \frac{\pi D_x^2}{4}$
Ecuación 22	Factor de fricción flujo laminar	$f_t = \frac{64}{Re}$
Ecuación 23	Perdidas en la tubería	$h_l = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$
Ecuación 24	Perdidas menores	$h_n = k_f \left(\frac{v^2}{2g}\right)$
Ecuación 25	Viscosidad cinemática	$\nu_x = 0,01446 \times (t - t_{HC})$
Ecuación 26	Viscosidad dinámica	$\eta_x = \nu_x \times \rho_x$
Ecuación 27	Factor de fricción flujo laminar	$f_t = \frac{16}{Re}$
Ecuación 28	Coefficiente de perdida de fricción válvulas y accesorios	$k_f = \frac{k_1}{Re} + k_\infty \left(1 + \frac{1}{D_x}\right)$
Ecuación 29	Coefficiente de perdida de fricción (tubería)	$k_f = \frac{k_1}{Re} + k_\infty$
Ecuación 30	Coefficiente de perdida de fricción (adaptador)	$k_f = \left(1,2 + \frac{160}{Re}\right) \left(\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1\right)$

Fuente. MOTT, Robert L.; ENRIQUEZ BRITO, Javier y LEÓN CÁRDENAS, Javier. Mecánica De Fluidos. México: Pearson Educación, 2006. ISBN 9702608058, p. i y ii, STEFFE, James y DAUBERT, Christopher. Ductos y Tuberías Para Bioprocesos: Reología y Análisis. Still Valley Drive: Freeman Press, 2006. 158 p.60, Elaborado por los autores.

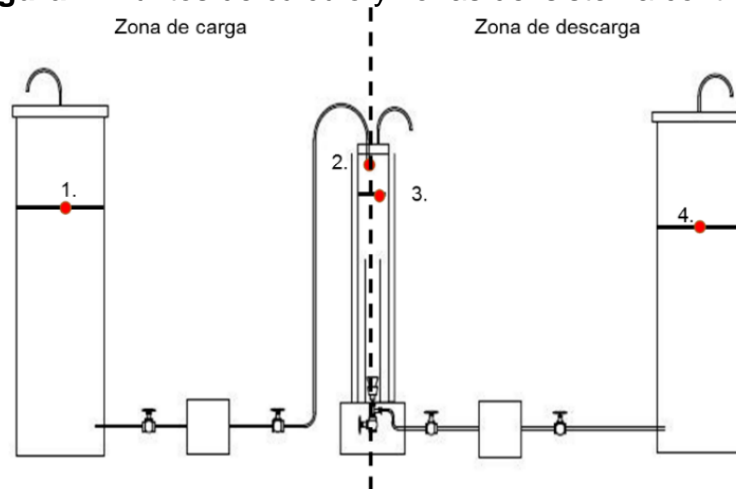
Como se observa en la tabla 4 se requiere conocer los valores de la viscosidad y la carga total sobre la bomba, los cuales se tomarán de acuerdo a cada propuesta, para el caso de la viscosidad se realizó una prueba de viscosidad a las muestras tomadas durante la prueba de densidad, el cálculo de este procedimiento se encuentra en el anexo E por otro lado, se identificó que algunos valores ya han sido

establecidos durante el presente trabajo, es el caso de los flujos y los diámetros de la manguera.

Se programó una hoja de cálculo en Excel como se presenta en el libro de Mecánica de fluidos Robert L. Mott³⁵.

- **Puntos de cálculo.** Se proponen varios puntos para realizar los cálculos por medio de la ecuación general de la energía³⁶. Estos puntos se escogieron estratégicamente puesto a que se pueden hacer suposiciones y se tienen valores de las presiones, velocidades y elevaciones. Como se observa en la figura 6 los puntos que se escogieron fueron: la superficie del fluido en el tanque de almacenamiento de medio de cultivo y de biomasa, la salida de la manguera que entra al fotobiorreactor y la superficie del fluido en el FBR para la propuesta 1. En las demás propuestas el punto 4 se encuentra en la salida de la manguera que entra al tanque de almacenamiento de biomasa.

Figura 7. Puntos de cálculo y zonas del sistema continuo 1



2.3 PLANOS DEL SISTEMA CONTINUO

Los planos del sistema continuo se desarrollaron en el programa de diseño SOLID EDGE versión estudiantil, en 2D y 3D del sistema continuo. Los planos se organizaron de la siguiente manera: planos generales, planos por componente divididos en: de almacenamiento 1 que corresponden al tanque de almacenamiento de medio de cultivo, almacenamiento 2 que son tanques para biomasa y planos del fotobiorreactor Air-lift. Cabe mencionar que esta propuesta de diseño es aproximada, por lo tanto, los espesores de los tanques y de las mangueras se tomaron de acuerdo a las recomendaciones de los proveedores.

³⁵ Ibid., p. 328.

³⁶ Ibid., p. 203.

2.4 CLASIFICACION DE PARTES DEL SISTEMA CONTINUO

Se elaboró tablas para cada una de las partes necesarias para la propuesta del sistema continuo, es decir, válvulas, mangueras, acoples, bombas, empaques, tanques, microfiltros, llaves, entre otros accesorios. En algunas de estas tablas se menciona información como ventajas y desventajas, precio, material de elaboración, tipos y dimensiones, mientras que otras solo tiene precios y material. Finalmente se hace una recomendación de las diferentes opciones que se cotizaron.

3. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 SELECCIÓN DE VARIABLES

De acuerdo a los cuadros 11 y 12 en donde se encuentran los trabajos de grado, libros y artículos ubicadas en el anexo A, se desarrolló la tabla 6 en la cual se encuentran las variables de diseño para un fotobiorreactor Air-lift en sistema Continuo y Batch.

Tabla 6. Variables especificadas para los tipos de sistema

Tipos de variables	Variables	Sistema	
		Batch	Continuo
Geométricas	Volumen del fotobiorreactor	X	X
	Diámetro Downcomer y Riser	X	X
	Altura del FBR	X	X
	Diámetro de manguera		X
	Temperatura	X	X
	Iluminación	X	X
	Ph	X	X
	Medio de cultivo	X	X
	Fotoperiodos	X	X
	Agitación	X	X
	Esterilización del medio	X	X
	Productividad volumétrica	X	X
	Flujo de salida y entrada al FBR		X
Proceso	Tasa de dilución		X
	Tiempos de retención FBR		X
	Tiempos de retención tanques de Almacenamiento.		X
	Potencia de la bomba		X

Para el caso de las variables como el volumen, la relación de diámetros, downcomer - riser y la altura del fotobiorreactor se toman de acuerdo a las ecuaciones de los trabajos de grado de Ruiz-Sierra³⁷ y Cruz-Poveda³⁸, en estos trabajos se establecieron los valores para estas variables y se construyó el fotobiorreactor en sistema por lotes.

³⁷RUIZ FONSECA, Steven; SIERRA HERRERA, Jennifer Alexandra y RUBIO, Diego. Evaluación De Un Fotobiorreactor a Escala Banco Para El Cultivo y Generación De Biomasa. Bogotá, D.C. Fundación Universidad de América, 2012, p.35.

³⁸ CRUZ, Op., cit., p.43.

Tabla 7. Datos de variables del fotobiorreactor

Variables	Valor	Unidades
Volumen de operación fotobiorreactor	1600	cm ³
Diámetro Downcomer	8	cm
Diámetro Riser	4	cm
Altura del FBR	50	cm

Fuente. RUIZ FONSECA, Steven; SIERRA HERRERA, Jennifer Alexandra y RUBIO, Diego. Evaluación De Un Fotobiorreactor a Escala Banco Para El Cultivo y Generación De Biomasa. Bogotá, D.C. Fundación Universidad de América, 2012, p.60.

Por otro lado, las condiciones para el crecimiento de la microalga han sido establecidas por medio de trabajos previos realizados por la línea de investigación.

Tabla 8. Condiciones de cultivo

Condiciones de crecimiento	Valores
Temperatura	22°C ±3°C ³⁹
Iluminación	393-428 Lux ⁴⁰
pH	6-7,3 ⁴¹
Medio de cultivo	Foliagro (2 ⁴² -3 ⁴³ mL/L) Disolución en agua
Fotoperiodos	12h/12h ⁴⁴
Agitación	Bomba de aire Penn-plaX air-pod 30 gal con dos salidas ⁴⁵
Esterilización Del medio	Autoclave ⁴⁶

Estas condiciones se deben mantener independientemente del tipo de sistema, no obstante condiciones como el medio de cultivo y el pH, van a ser influenciadas por el sistema continuo, la principal razón es que en el sistema continuo se ingresa medio de cultivo fresco, en consecuencia, la concentración del medio de cultivo en el fotobiorreactor permanecerá constante durante el transcurso del tiempo, diferente que en un sistema por lotes donde se consume en gran parte, por otro lado el pH

³⁹ CAICEDO, Op., cit., p.21.

⁴⁰ CRUZ, Op., cit., p.67.

⁴¹ CALDERON, Op., cit., p.26.

⁴² ALCALÁ RAMOS, Camilo Andrés y GUAUQUE DÍAZ, Ingrid Catalina. Evaluación De La Incidencia De La Temperatura En La Producción De Lípidos Obtenidos a Partir De Biomasa Microalga a Escala Laboratorio. Bogotá: Fundación Universidad de América, 2013, p.44.

⁴³ CAICEDO, Op., cit., p.57.

⁴⁴ GÓMEZ PORTILA, Op., cit., p.44.

⁴⁵ CAICEDO, Op., cit., p.55.

⁴⁶ ALCALÁ, Op., cit., p. 52.

se mantendrá constante en este tipo de sistemas, para lo cual el uso de aire o dióxido de carbono mantendrá el pH en un rango óptimo.

Además, algunas variables tienen relación entre sí, es el caso de la tasa de dilución con el flujo de salida que se pueden relacionar mediante el balance de la biomasa, también es el caso de la potencia de la bomba que depende de los flujos de entrada y salida del fotobiorreactor, diámetro de la manguera y el tiempo de retención de los tanques. De acuerdo a lo anterior para seleccionar las variables de diseño se enfocó en aquellas que son independientes y presentan una relación entre sí. Estas variables fueron:

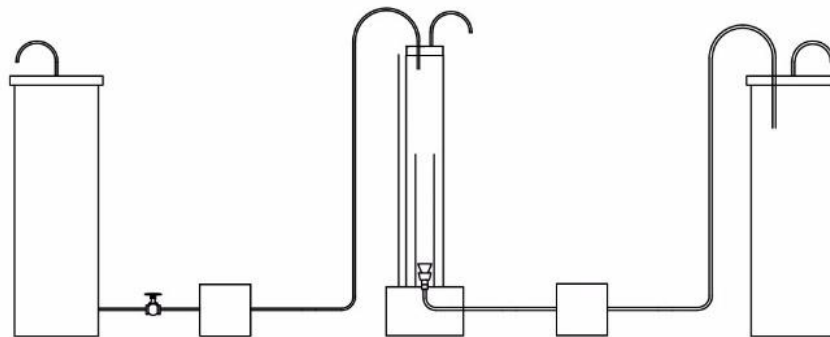
- Flujo de entrada y salida del fotobiorreactor.
- Diámetro de la manguera.
- Tiempo de retención de los tanques.
- Potencia de las bombas.

3.2 PROPUESTAS DE DISEÑO

3.2.1 Especificaciones de las propuestas de diseño.

3.2.1.1 Primera propuesta. Para este diseño se define un tiempo de funcionamiento del sistema continuo de 15 días, con dos bombas: la primera bomba dirige el medio de cultivo hacia el fotobiorreactor, mientras que el segundo lleva la biomasa del fotobiorreactor hacia el tanque de almacenamiento de biomasa, tiene una válvula de bola, una llave de doble tipo con cierre bilateral, un adaptador de manguera; la salida del tanque de alimentación al fotobiorreactor es de forma lateral, sin embargo, la entrada al tanque de almacenamiento de biomasa es en la parte superior de este, como se observa en la figura 8.

Figura 8. Propuesta de diseño para sistema continuo 1

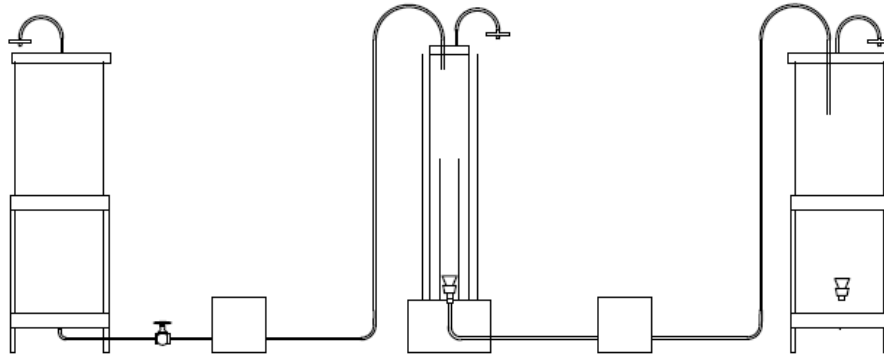


En cuanto a las tapas de cada uno de los tanques se propuso un cierre por presión para evitar la contaminación del medio de cultivo, además de una abertura para venteo de los tanques por dos motivos el primero para evitar la acumulación de gases en

el tanque de biomasa y segundo para evitar la presión de vacío por el funcionamiento de la bomba. Además, se tuvo que cambiar el diseño de la tapa del fotobiorreactor debido a la entrada de la manguera y una salida de venteo, para el caso de la entrada de los cables del termostato se planteó un sello flexible, con el fin de mantener aséptico el fotobiorreactor.

3.2.1.2 Segunda propuesta. Para la segunda propuesta se consideró un tiempo de funcionamiento de 15 días, una válvula de bola, una llave de doble tipo con cierre bilateral, una llave de cierre en el tanque de biomasa, dos bombas; las mangueras van conectadas a la salida posterior del tanque de almacenamiento y por la parte superior del tanque de recolección de biomasa, se propone el uso de soportes y microfiltros de aire en los tanques de almacenamiento como se observa en la figura 9.

Figura 9. Propuesta de sistema continuo 2



Al igual que la propuesta anterior las de cada uno de tanques tienen un cierre por presión con la abertura de venteo, sin embargo, la tapa del tanque de biomasa tiene dos aberturas una para venteo y la otra para la entrada de la manguera. Por otro lado, la tapa del fotobiorreactor es la misma que la primera propuesta.

3.2.2 Cálculos de diseño

3.2.2.1 Flujos de entrada y salida del fotobiorreactor.

- **Flujo de salida del fotobiorreactor.** Para el flujo de salida se consultó la velocidad de crecimiento en específico de la microalga *Chlorella vulgaris* en trabajos de grados y en artículos que hayan trabajado con esta microalga en un fotobiorreactor Air-lift, a los datos obtenidos se les aplicaron las ecuaciones de la tabla 1, el procedimiento se encuentra en el anexo C.

Tabla 9. Velocidad de crecimiento

Referencia	Velocidad de crecimiento (s ⁻¹)
ROMDHANE, F.; et al ⁴⁷	5,0 E-06
	4,3 E-07
LOPEZ, Tania ⁴⁸	1,1 E-06
	6,1 E-07
	6,5 E-07

En cuanto a la velocidad de crecimiento específica, este valor hace referencia a la velocidad con la cual la microalga crece de manera exponencial, como el sistema trabaja en esta fase, se utilizará estos valores para calcular el flujo de salida del sistema continuo.

Tabla 10. Flujo de salida del fotobiorreactor

Velocidad de crecimiento (s ⁻¹)	Flujo de salida (m ³ /s)
5,0 E-06	8,0 E-09
4,3 E-07	1,8 E-09
1,1 E-06	1,0 E-09
6,1 E-07	9,7 E-10
6,5 E-07	6,8 E-10

Como se observa existen diferentes valores para las velocidades de crecimiento específico, se considera que esta variación depende de las condiciones en las que creció la microalga, además del tiempo y la cantidad celular que se inoculo al inicio del fotobiorreactor, como se observó en los trabajos de grado y artículos referenciados, por lo cual se optó por un flujo variable para el diseño.

De acuerdo a los valores estipulados en la tabla 10, el flujo de salida puede variar de 6,8 E-10 a 8,0 E-09 m³/s.

Al comparar los resultados del flujo de salida del fotobiorreactor de este trabajo con el flujo del trabajo de ROMDHANE (5,0E-09 m³/s)⁴⁹ se observa que este flujo hace parte del rango propuesto y que al igual que los flujos propuestos tienden a ser bajos, esto se explica por la baja velocidad con la que la microalga crece, en consecuencia, se tendrá que aplicar flujos muy bajos. No obstante, al tener estos valores muy similares se pueden aplicar al sistema.

⁴⁷ ROMDHANE, Op., cit., p.368.

⁴⁸ LÓPEZ, Op., cit, p.60-66.

⁴⁹ ROMDHANE, Op., cit., p.368.

- **Flujo de entrada del fotobiorreactor.** Para el flujo de entrada se requieren los valores del flujo de salida y la densidad de entrada y salida del fotobiorreactor, como el flujo de salida es un rango de flujo, lo mismo será para el flujo de entrada, el procedimiento de cálculo se encuentra en el anexo C.

Tabla 11. Densidades y flujos de entrada del fotobiorreactor

Variable	Valor	Unidades
Densidad del medio de cultivo	933,721	Kg/m ³
Densidad de la biomasa	1000,176	Kg/m ³
Flujo de entrada	7,3 E-10 - 8,6 E-09	m ³ /s

Como se evidencia en la tabla 11 la densidad a la salida será mayor que la de entrada, esto se debe principalmente a que la microalga empieza a consumir los nutrientes y empieza a crecer de forma exponencial generando una mayor cantidad de masa a la salida del fotobiorreactor, lo cual también hace que para mantener el fotobiorreactor a condiciones estables, el flujo de entrada tiene que ser mayor al de salida.

3.2.2.2 Diámetro de la manguera. El diámetro que se manejó de manguera es de 1/4 in (6,35 mm) interno y de 3/8 in (9,53 mm) externo, se propuso estas medidas debido a que es una de las medidas estándar que manejan las bombas y las válvulas a nivel nacional, permitiendo una fácil conexión en el sistema. Por otro lado, los cálculos del número de Reynolds, trabajo de cizalla del sistema y la velocidad de deformación de cizalla, el procedimiento de cálculo está en el anexo F.

Tabla 12. Diámetro y estrés celular

Variable	Valor		Unidades
	Tubería 1	Tubería 2-3	
Numero de Reynolds	0,72	1,45	Adimensional
Velocidad de deformación de cizalla	9,97E-3	7,97E-2	s ⁻¹
Fuerza de cizalla del sistema	1,95E-4		J/Kg

En la tabla 12 se evidencia que el número de Reynolds y velocidad de deformación de cizalla para un diámetro de 1/4" son bajos en comparación con la

investigación de MICHEL⁵⁰ ⁵¹ en la cual se presentó muerte celular por fuerza de cizalla, donde se trabajó con números de Reynolds entre 9,3E3 a 2,3E4, por otro lado, la velocidad de deformación dependerá de las condiciones en las cuales se trabaje la microalga en consecuencia a esto se encontraron valores de 2,2 s⁻¹ a 22 s⁻¹. Por lo tanto, para el sistema propuesto en este trabajo de investigación la microalga no sufrirá ningún daño durante el transporte del fotobiorreactor al tanque de almacenamiento de biomasa.

3.2.2.3 Tiempo de retención y cálculo de los tanques. El flujo que se manejó para el cálculo del tiempo de retención fue de 8,6 E-09 m³/s, se escogió principalmente por ser el de mayor flujo, en consecuencia, la potencia que necesita la bomba para hacer fluir el líquido será mayor, debido a que no hay cambio significativo de volumen tanto del medio de cultivo como la biomasa se tomara la mismas medidas para el tanque, sin embargo se calculara el volumen y la altura de operación para cada una, para estas variables se aplicaron las ecuaciones de la tabla 4 con una relación optima de altura - diámetro de 3⁵², el procedimiento de los cálculos se encuentra en el anexo D.

Tabla 13. Dimensiones de los tanques

Parámetros	15 días	Unidades
Volumen total	0,014	m ³
Volumen de operación (m. de cultivo)	0,011	m ³
Volumen de operación (biomasa)	0,010	m ³
Altura total	0,54	m
Altura de operación (m. de cultivo)	0,43	m
Altura de operación (biomasa)	0,39	m
Diámetro	0,18	m
Volumen máximo de biomasa	0,012	m ³

Como se observa en la tabla 13, se requiere un tanque con una altura de 54 cm y un diámetro de 18 cm, adicionalmente el volumen máximo de biomasa que sale es de 12 L.

3.2.2.4 Potencia de las bombas. Para los cálculos de la potencia de la bomba se tuvo que realizar una metodología de cálculo, cuyo procedimiento se encuentra en el Anexo E. En la tabla 14 se encuentra los valores de las pérdidas totales de

⁵⁰ MICHEL^S, Michiel., et al., Effects of shear stress on the microalgae *Chaetoceros muelleri*. 27 de febrero del 2010.vol. 33, p. 921

⁵¹ MICHEL^S, Michiel., et al., Cultivation of shear stress sensitive and tolerant microalgal species in a tubular photobioreactor equipped with a centrifugal pump. 20 de marzo del 2015.vol. 28, p. 53

⁵² WALAS, Stanley, et. al. Chemical Process Equipment Selection and Design. 2nd ed. Burlington: Elsevier, 2005. 814-XVI p. ISBN 0-7506-7510-1

energía, la carga total sobre la bomba, la potencia agregada al fluido y la potencia de la bomba, para las tres propuestas de diseño.

Tabla 14. Potencia de las bombas de carga y descarga para las dos propuestas

Propuesta	Bomba	Pérdida total de energía (m)	Carga total sobre la bomba (m)	Potencia agregada sobre la bomba (kW)	Potencia (hp)
1	Bomba de carga	4,31E-5	1,41E-1	1,11E-8	1,49E-8
	Bomba de descarga	2,53E-5	6,10E-2	4,80E-9	6,44E-9
2	Bomba de carga	4,63E-5	9,12E-2	7,18E-9	9,62E-9
	Bomba de descarga	2,53E-5	1,10E-2	8,67E-10	1,16E-9

Como se observa las potencias de las bombas que se requieren para las dos propuestas de diseño son bajas con valores que rondan entre 1,16 E-9 a 1,49 E-8 caballos de fuerza, una potencia muy pequeña comparada con las que se encuentra en el mercado, esto se debe principalmente a la baja velocidad del flujo, adicionalmente se observó que las pérdidas de energía están influenciadas principalmente por la diferencia de alturas entre los puntos de referencias, esto se ve evidenciado cuando se comprara las potencias de las bombas de carga de la primera propuesta la cual tiene mayor diferencia de alturas entre los dos puntos de referencia y la segunda propuesta. Sin embargo, al tener que pasar estos flujos con una alta precisión debido al crecimiento del microorganismo, la adecuación de una bomba es necesario.

Cuando se compara las potencias de las bombas calculadas con el trabajo de Torres y Zambrano⁵³ cuyos resultados son de 1,64E-5 hp y 1,65E-5 para las bombas de carga y descarga respectivamente, se observa que aunque son mayores las potencias de las bombas con las calculadas en este proyecto, siguen siendo bajas y aun así ellos utilizaron bombas para su proceso, por ende se necesita el uso de las bombas para este tipo de sistemas, para suplir las necesidades de las microalgas.

⁵³ TORRES RAMÍREZ, Daniel Alejandro; ALFONSO MORALES, Freddy Leonardo y ZAMBRANO ORDOÑEZ, Wilmer David. Evaluación De La Producción De Hidrógeno Usando La Bacteria Clostridium Butyricum En Un Reactor Tipo CSTR a Escala Laboratorio. Bogotá, D. C.: Fundación Universidad de América, 2011.

3.2.2.5 Ventajas y desventajas de las propuestas de diseño.

- **Análisis cualitativo.** Se observó que algunas de las propuestas tienen desventajas y ventajas con respecto a la otra como se presenta a continuación:
 - Primera propuesta: Tiene como ventajas el uso de accesorios móviles como la llave bilateral para la salida del flujo del fotobiorreactor y la llave de muestra, la entrada por la parte superior al tanque de biomasa, No obstante tiene desventajas como la salida de la manguera del tanque de almacenamiento del medio de cultivo de forma lateral, las principales razones se deben a la pérdida del medio de cultivo que queda por debajo de esta salida, lo que ocasiona pérdida de este medio.
 - Segunda propuesta: Tiene la ventaja del segundo diseño al contar con accesorios móviles, en el diseño se tuvo en cuenta parámetros como la esterilidad y la estabilidad estructural del sistema como las más fundamentales como la propuesta de una estructura que contenga los tanques de almacenamiento, la salida posterior del tanque de alimentación la cual evitara el desperdicio de medio de cultivo, esta propuesta presenta incorporaciones y mejoras como los microfiltros con el fin de evitar la contaminación del medio del cultivo y de la biomasa.
- **Análisis Cuantitativo.** La potencia de las bombas para este caso cambia con las diferencias de altura, estas son definidas por el volumen de operación de los tanques de almacenamiento del medio de cultivo, para las propuestas 1 y 2; estos volúmenes de operación están directamente relacionadas con el tiempo de retención en los tanques debido a que a mayores tiempos de retención mayores son las diferencias de altura entre los puntos de referencia y así mismo mayor será la potencia que requerirá la bomba para funcionar eso se evidencia en el análisis de la potencia de las bombas de carga y descarga en las diferentes propuestas, por ejemplo, la potencia de la bomba de carga de la primera propuesta es de $9,62E-9$ con una diferencia de alturas de $0,091m$ que es menor a la segunda propuesta cuya potencia de la bomba es de $1,49E-8$ con una diferencia de alturas de $0,141m$. Hay que aclarar que el flujo tanto de entrada al fotobiorreactor como el de salida de este y el diámetro en las dos propuestas se mantuvieron constantes, no obstante si se varía el diámetro de la tubería, mayores serán las pérdidas de energía a través de esta. Por lo tanto teniendo en cuenta las ventajas presentadas la propuesta que se recomienda es la segunda propuesta.

Cabe mencionar que las propuestas de diseño realizadas por este trabajo de grado, la operación inicial es en lotes o batch y conforme se acerque a la fase estacionaria se empieza a operar en sistema continuo, no obstante, teniendo en cuenta que los valores de estrés generados por el sistema son bajos y la microalga *Chlorella vulgaris* es resistente a fuerzas de cizalla, se puede manejar un sistema

semi-continuo con mayores flujos, disminuyendo los costos de algunos equipos y aumentando la fácil adquisición de estos.

3.3 PLANOS DEL FOTOBIORREACTOR EN SISTEMA CONTINUO

Se realizó 14 planos los cuales se encuentran en el anexo H.

3.4 CLASIFICACION DE PARTES DEL SISTEMA CONTINUO

3.4.1 Flujos de entrada y salida

3.4.1.1 Válvulas. En las propuestas de diseño del sistema continuo se requiere de válvulas que regulen el paso del fluido, entre las cuales se pueden encontrar válvulas de globo, compuerta, mariposa y bola.

Cuadro 7. Tipos de válvula, usos, ventajas y desventajas

Tipo	Uso	Ventajas	Desventajas
Globo	<ul style="list-style-type: none"> • Estrangulación o regulación de circulación. • Servicios generales, líquidos, corrosivos y pastas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Controla el flujo por medio de estrangulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera grandes pérdidas de energía del fluido. • Produce turbulencia en el fluido.
Compuerta	<ul style="list-style-type: none"> • Control de todo el flujo o nada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pocas pérdidas de energía del fluido. • Genera poca turbulencia cuando está abierta al 100%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costosa. • Se debe usar guías y superficies selladoras.
Mariposa	<ul style="list-style-type: none"> • Pastas semi-líquidas y líquidos con sólidos en suspensión. • Regulación de flujo 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajas caídas de presión. • Altas capacidades de flujo. • Fácil limpieza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Propensa a cavitación. • Se ve limitada por la caída de presión.
Bola	<ul style="list-style-type: none"> • Control de caudal de fluidos negros o fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajas caídas de presión y pérdidas de energía. • Apertura rápida. • Pocas fugas. • Bajo costo. • Pocas fugas. 	<ul style="list-style-type: none"> • No sirve para estrangulación del fluido. • Propensa a cavitación y al desgaste de sellos o empaquetaduras.

De acuerdo al cuadro 7, las válvulas de bola y mariposa manejan fluidos con sólidos en suspensión, característica importante del sistema debido a que el flujo que sale del fotobiorreactor tiene partículas en suspensión (microalgas); sin embargo, la válvula de bola presenta menor impacto de cavitación y bajas caídas de presión con respecto a la de mariposa y teniendo en cuenta que se necesita facilidad en el mantenimiento, limpieza y esterilización del sistema para que no se contamine se recomienda que la válvula sea de bola.

Como se observa en el anexo G, se pueden encontrar diferentes materiales de fabricación de las válvulas de bola a nivel nacional, no obstante, la válvula de bola de nylon presenta ventajas con respecto a las otras válvulas debido a que no sufre problemas con la corrosión como los otros materiales, su mantenimiento es bajo, no contamina el flujo y su precio es asequible.

3.4.1.2 Bombas. Para la propuesta se necesitan bombas que no contaminen el medio de cultivo y la biomasa, además de cumplir los rangos de flujos establecidos. En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de bombas como las de diafragma, dosificadoras y las peristálticas que cumplen con estas características, no obstante, en el mercado nacional no se encuentran las bombas de diafragma o dosificadoras que manejen flujos tan bajos y por lo tanto se cotizaron las bombas peristálticas, es importante señalar que estas bombas son las más utilizadas para este tipo de proceso debido a que no entra en contacto con el medio de cultivo ni con la biomasa, además puede utilizar un sistema multicanal con el fin de bombear otro líquido al mismo tiempo, también una de sus características más importantes es que no presenta burbujeo, el cual puede afectar la microalga durante su transporte en la manguera. En el anexo G, se encuentran las cotizaciones y características de diferentes tipos de bombas peristálticas, sin embargo, debido a que se deben manejar velocidades muy bajas, su costo es elevado, el cual dependerá de las funciones adicionales que el equipo tenga. Unas de las opciones para reducir el costo de estas bombas son por medio de bombas dosificadoras peristálticas cuyo costo es de menor valor y también se pueden encontrar en el mercado internacional bombas económicas que cumplan con los caudales establecidos.

3.4.2 Diámetro de manguera

3.4.2.1 Mangueras. Las mangueras que se requieren para el sistema deben ser flexibles, de fácil esterilización y que el material sea inerte, con el fin de garantizar que tanto el medio de cultivo como la biomasa no presente daños, del mismo modo se busca que la manguera sea de fácil conexión y mantenimiento para cada uno de los componentes a los cuales se va a conectar.

Las mangueras siliconadas presentan estas características, también por su alta disponibilidad en el mercado nacional se puede encontrar de diferentes tipos y marcas. Como se observa en el anexo G, se puede encontrar de diferentes tipos,

no obstante, se recomienda la manguera siliconada de grado medico debido a que son más económica y que permiten que durante el sistema no haya acumulación de biomasa por estos debido a su resistencia a la tracción.

3.4.3 Tanques. Para los tanques de almacenamiento de medio de cultivo y de biomasa se sugiere que sean construidos con polipropileno o acrílico, estos materiales se caracterizan por la fácil limpieza, su resistencia, son asépticos y no contaminan el medio de cultivo o la biomasa puesto que son materiales inertes.

Como se observa en el apéndice G, el costo del cuerpo del tanque en los dos materiales no se presenta un gran diferencia, sin embargo el cuerpo del tanque hecho en polipropileno se elabora en una pieza única, es decir, tanto la tapa como el cuerpo y los acoples se pueden realizar en conjunto, por lo cual se tendrá mayores ventajas en cuanto a la hermeticidad y la disminución de fugas en el sistema, por otro lado, si se realiza el cuerpo en acrílico se tiene que adaptar tanto los acoples como la tapa del tanque por separado. Para las tapas de los tanques se recomienda que se realicen con polipropileno o algún material similar con el fin de que el cierre sea hermético con el cuerpo del tanque, lo cual presenta ventajas con respecto a otros cierres como los de rosca o por atornillado los cuales pueden presentar mayor probabilidad de contaminación dentro del tanque.

3.4.4 Otros

3.4.4.1 Accesorios. Entre los accesorios que se necesitan para el sistema se encuentran: acoples, reductores de flujo, empaques y microfiltros, este último va conectado hacia la salida de aire en cada tanque y del fotobiorreactor con la cual se garantiza un escape de aire sin que se presente ingreso de residuos o microorganismos provenientes del aire del alrededor, en el apéndice G se encuentra la información de los materiales en los que se consigue estos accesorios y el precio en el mercado nacional.

3.4.4.2 Soporte de los tanques. Para una mejor estabilidad de los tanques se emplea las estructuras que se observan en el plano en el conjunto de almacenamiento, debido a que debe resistir un tanque donde se almacenara medio de cultivo y biomasa, se deben manejar materiales apropiados que puedan manejar este peso y la corrosión.

En el anexo G se encuentran los materiales que se encuentran con mayor facilidad en el mercado nacional, se buscó principalmente tres materiales: polipropileno de alta densidad, aluminio y acero inoxidable, para el aluminio y el acero se cotizo tanto la materia prima, como el ensamblaje, lo cual da costo total de realizar las estructuras.

De acuerdo con el anexo G el polipropileno de alta densidad es menos costoso, entre sus ventajas esta que no se corroe, es fácil de esterilizar y es una pieza única;

por otro lado, el aluminio y el acero inoxidable necesitan ensamblarse por soldadura o unión con tornillos, lo cual puede provocar una posible corrosión, además de su alto costo.

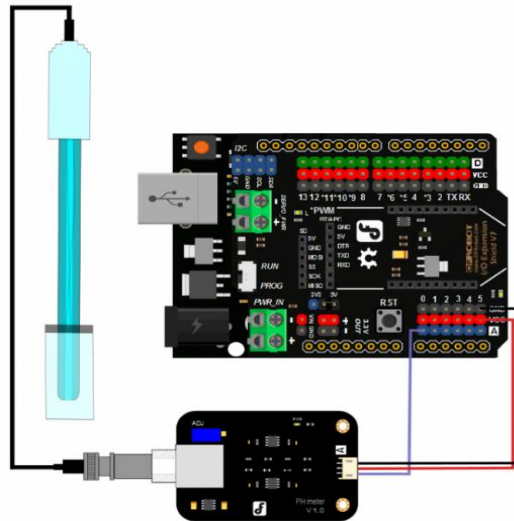
3.4.4.3 pH-metros. Durante las propuestas de diseño se encontró que el fotobiorreactor carece de algún tipo de medición que permita conocer el valor del pH, de esta manera en el cuadro 8 se encuentran los principales métodos de medición de pH.

Cuadro 8. Usos, ventajas y desventajas entre métodos de medición de pH

Tipo	Uso	Ventajas	Desventajas
Indicadores	Medición del pH en sectores académicos y de laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo. • Muy resistente al contacto de la solución. • Bajo mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor precisión. • No se puede automatizar
pH-metro	Medición del pH en sectores industriales y de laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor precisión • Pueden medir otras condiciones (Temperatura, conductividad, entre otros.) • Mediciones en línea 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo. • Puede presentar resultados falsos por mala calibración.

El uso de un sensor en línea de pH, es la mejor opción debido a que permite obtener medidas al instante durante todo el proceso; además su ventaja principal con respecto a los indicadores es su precisión. Cabe resaltar que el fotobiorreactor cuenta con una tarjeta de arduino que se encuentra en la base del fotobiorreactor con la cual es posible realizar una interpretación en línea del pH, para lo cual se propone un sistema de medición con una sonda de pH sumergida en el medio de cultivo en el fotobiorreactor.

Figura 10. Conexión sensor de pH



Fuente. dfrobot. Analog pH Meter Pro SKU:SEN0169. [Electrónico]. [Consultado el 21/06/2016]. Disponible en: http://dfrobot.com/wiki/index.php/Analog_pH_Meter_Pro_SKU:SEN0169

Con respecto al anexo G se recomienda el sensor de pH modelo 3-2724-00, debido a que se puede incorporar un monitoreo en línea con la tarjeta de arduino que tiene el fotobiorreactor y a la vez se puede realizar un control de la bomba mediante el manejo de este tipo de sensor.

4. CONCLUSIONES

- Se observó que las variables de diseño se pueden distinguir en dos grupos principales de variables, las cuales se deben tener en cuenta a la hora de diseñar este tipo de sistemas, sin embargo, se observa que las variables operacionales como el flujo y el tiempo de retención son de gran importancia en el diseño de este tipo de sistema.
- Se determinó que los flujos de entrada y salida están influenciados por la velocidad de crecimiento de la microalga y que esta a su vez dependerá de las condiciones y el tiempo que se hayan considerado para el cultivo; en consecuencia, las velocidades de crecimiento tomaran valores diferentes.
- Se encontró que las potencias de las bombas en cada propuesta de diseño dependen de la diferencia de alturas entre los puntos de referencia y debido a que el caudal manejado es bajo, es irrelevante para este tipo de sistemas, lo que permitió modificar las propuestas sin tener un cambio significativo de este valor.
- Se observó que en el mercado nacional se tiene disponibilidad de accesorios, válvulas y equipos que cumplen con los requerimientos del sistema continuo, para el fotobiorreactor, así como los materiales de construcción de los tanques de almacenamiento y sus soportes. Estos elementos tienen ventajas como poca caída de presión, fácil limpieza y mantenimiento, no permiten la formación de burbujas en la tubería y evita la contaminación del medio de cultivo y de la biomasa, que son fundamentales para los procesos con microorganismos.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una propuesta de diseño de un sistema semi-continuo y evaluarla con respecto a la propuesta de diseño del sistema continuo.
- Realizar una investigación acerca de la disminución de la fase de latencia con respecto a determinado micronutriente con el fin de disminuir los tiempos de operación en el sistema continuo.
- Realizar el estudios para mejorar de la tasa de dilución para el fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio en el cultivo de la microalga *Chlorella vulgaris*.
- Realizar la implementación y automatización de la propuesta de diseño del sistema continuo.
- Desarrollar el modelamiento de absorción entre el medio de cultivo y el dióxido de carbono.
- Hacer el estudio del estrés hidrodinámico de la microalga *Chlorella vulgaris* en el fotobiorreactor Air-lift.

BIBLIOGRAFÍA

ABALDE, Julio y [et al.]. Parámetros De Cultivo. En: Universidade da Coruña. Microalgas: Cultivo y Aplicaciones. España: Universidade da Coruña, 1995. 19-63 p. ISBN 8488301847

ALCALÁ RAMOS, Camilo Andrés y GUAUQUE DÍAZ, Ingrid Catalina. Evaluación De La Incidencia De La Temperatura En La Producción De Lípidos Obtenidos a Partir De Biomasa Microalga a Escala Laboratorio. Bogotá: Fundación Universidad de América, 2013.

AL-MASHHADANI, Mahmood K. H.; WILKINSON, Stephen J. y ZIMMERMAN, William B. Airlift bioreactor for biological applications with microbubble mediated transport processes. En: CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE. 12/1.vol. 137, p. 243-253

CAICEDO, Laura y RODRIGUEZ, Sergio. OBTENCIÓN DE BIOMASA Y AZUCARES REDUCTORES A PARTIR DE MICROALGAS PRODUCIDAS EN UN FOTOBIOREACTOR AIRLIFT A ESCALA LABORATORIO. Bogotá: Fundación Universidad de América, 2016.

CALDERÓN CARDOZO, Sara María; RAMÍREZ LASPRILLA, Diana Emperatriz y RUBIO, Diego. Evaluación De La Influencia Lumínica Sobre Producción De Biomasa y Lípidos a Partir De *Chlorella Vulgaris* En Un Fotobiorreactor De Panel Plano a Escala Banco. Bogotá, D.C.: Fundación Universidad de América, 2013.

CHICA CARDONA, Claudia Rocío; PARRA HERNÁNDEZ, Mónica Patricia y RUBIO, Diego. Obtención De Ácidos Grasos Producidos a Partir De Biomasa Producida De Microalgas *Chlorella* a Escala Laboratorio. Bogotá, D. C.: Fundación Universidad de América, 2011.

CHO, Dae-Hyun, et al. Influence of limiting factors on biomass and lipid productivities of axenic *Chlorella vulgaris* in photobioreactor under chemostat cultivation. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. 22 marzo del 2016.vol. 211, p. 367.

CRUZ PARRADO, Ana María; POVEDA ZAMBRANO, Jessika Jhojana y RUBIO BIÓLOGO, Diego. Implementación De La Mejora Operacional Del Fotobiorreactor Airlift Para La Producción De Biomasa Microalgal. Bogotá, D.C.: Fundación Universidad de América, 2014.

DORAN, Pauline M. y GARCÍA LABIANO, Francisco J. Principios De Ingeniería De Los Bioprocesos. España: Acibia, 1995. ISBN 8420008532

FERNANDES, Bruno D., et al. Continuous cultivation of photosynthetic microorganisms: Approaches, applications and future trends. En: BIOTECHNOLOGY ADVANCES. 11/1.vol. 33, no. 6, Part 2, p. 1228-1245

FU, et al. Maximizing biomass productivity and cell density of *Chlorella vulgaris* by using light-emitting diode-based photobioreactor. En: J. BIOTECHNOL. vol. 161, p. 242-249.

GÓMEZ PORTILA, Leidy Jhoana y RUBIO, Diego. Evaluación De La Producción De Azúcares En Cultivos De Microalgas (*Chlorella Vulgaris*) a Nivel Laboratorio, Sometidos a Diferente Fotoperiodo y Concentraciones De Hierro. Bogotá D.C.: Fundación Universidad América, 2014.

HAVLIK, Ivo, et al. On-line monitoring of large cultivations of microalgae and cyanobacteria. En: TRENDS IN BIOTECHNOLOGY. 7.vol. 31, no. 7, p. 406-414

HELM, M. M., BOURNE, N. y LOVATELLI, A. Cultivo De Bivalvos En Criadero. [Electrónico]. [Consultado el 02/152016]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/y5720s/y5720s07.htm>

HO, Shih-Hsin, et al. Perspectives on engineering strategies for improving biofuel production from microalgae — A critical review. En: BIOTECHNOLOGY ADVANCES. 12.vol. 32, no. 8, p. 1448-1459.

HOSKISSON, P. y HOBBS, G. Continuous culture- making a comeback? En: MICROBIOLOGY. 1 octubre 2005.vol. 151, p. 3153

IB01x Industrial Biotechnology. Learning about the microorganism: q-rates and chemostat. [internet]. Edx, delf university of technology, 2015

IMAIZUMI, Y. et al. Estimation of optimum specific light intensity per cell on a high-cell-density continuous culture of *Chlorella zofingiensis* not limited by nutrients or CO. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. vol. 162, p. 53-59.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION ICONTEC. Guía para numeración de divisiones y subdivisiones en documentos escritos. Bogotá, Colombia. NTC 1075, actualización del 2008, p.6.

_____. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá, Colombia. NTC 1486, actualización del 2008, p. 42.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. Bogotá, Colombia. NTC 4490, actualización del 2008, p.27.

_____. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. Bogotá, Colombia. NTC 5613, actualización del 2008, p. 38.

JOHANSEN, N. Melanie. Microalgae Biotechnology, Microbiology and Energy. 1 Edición ed. New York: NOVA, 2012. 491 p.

KHATRI, W. et al. Hydrocarbon production in high density Botryococcus braunii race B continuous culture. En: BIOTECHNOL.BIOENG. vol. 111, p. 493-503.

LEE, Y. y SHEN H. Basic culturing techniques. En: HANDBOOK OF MICROALGAL CULTURE: BIOTECHNOLOGY AND APPLIED PYCOLOGY. p. 40

LÍVANSKÝ, Karel, et al. CO₂ partial pressure–pH relationships in the medium and relevance to CO₂ mass balance in outdoor open thin-layer Arthrospira (Spirulina) cultures. En: ARCHIV FÜR HYDROBIOLOGIE. vol. 165, no. 3, p. 365-381

LÓPEZ RODRÍGUEZ, Tania Lizeth; MALAGÓN MICÁN, Martha Lucía y TORRES CÁRDENAS, Carlos Mauricio. Evaluación De Desempeño Del Fotobiorreactor Airlift Para La Producción De Biomasa y Lípidos a Escala Banco. Bogotá, D-.C.: Fundación Universidad de América, 2013.

MA, X. et al. Growth of Chlorella outdoors in a changing light environment. En: APPL. PHYCOL. vol. 9, p. 425-430

MEISER, Andreas; SCHMID-STAIGER, Ulrike y TRÖSCH, Walter. Optimization of eicosapentaenoic acid production by Phaeodactylum tricornutum in the flat panel airlift (FPA) reactor. En: JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY. vol. 16, no. 3, p. 215-225

MERCHUK, JC y GARCIA CAMACHO, F. Bioreactors: airlift reactors. En: ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY.

MICHELS, Michiel., et al., Effects of shear stress on the microalgae Chaetoceros muelleri. 27 de febrero del 2010.vol. 33

_____., Cultivation of shear stress sensitive and tolerant microalgal species in a tubular photobioreactor equipped with a centrifugal pump. 20 de marzo del 2015.vol. 28

MONTOUTO GONZALEZ, Amador. Diseño De Una Planta Piloto Para La Bioconversión Del Glicerol Procedente De La Industria De Los Biocombustibles. España.: Universidad de Cadiz, 2010. p. 1.

MOTT, Robert L.; ENRIQUEZ BRITO, Javier y LEÓN CÁRDENAS, Javier. Mecánica De Fluidos. México: Pearson Educación, 2006. ISBN 9702608058.

NAJAFPOUR, Ghasem D. CHAPTER 5 - Growth Kinetics. En: NAJAFPOUR, Ghasem D. Biochemical Engineering and Biotechnology. Amsterdam: Elsevier, 2007. 81-141 p. ISBN 9780444528452

OSORIO, Ruben y ZAPATA, Maria. Práctica 3. Densidades De Líquidos. [Print(0)]. Universidad de Antioquia. 04 de noviembre de 2004. [Consultado el Abril/122016]. Disponible en:<http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslabquimico/02practicass/practica03.htm>

ROMDHANE, F., et al. Development and validation of a minimal growth medium for recycling *Chlorella vulgaris* culture. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. 1 agosto del 2012.vol. 123, p. 366

RUIZ FONSECA, Steven; RUBIO, Diego y SIERRA HERRERA, Jennifer Alexandra. Evaluación De Un Fotobiorreactor a Escala Banco Para El Cultivo y Generación De Biomasa. Bogotá, D.C: Fundación Universidad de América, 2012.

SANDNES, J., et al. Real-time monitoring and automatic density control of large-scale microalgal cultures using near infrared (NIR) optical density sensors. En: JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY. marzo 23 del 2006.vol. 122, p. 209

STEFFE, James y DAUBERT, Christopher. Ductos y Tuberías Para Bioprocesos: Reología y Análisis. Still Valley Drive: Freeman Press, 2006.

SHULER, Michael y KARGI, Fikret. Bioprocess Engineering. New Jersey: Prentice Hall PTR: Englewood Cliffs, 1992. 479 p.

TANG, Haiying. Continuous microalgae cultivation in a photobioreactor. En: BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING. 4 mayo del 2012.vol. 109, p. 2468.

TORRES RAMÍREZ, Daniel Alejandro; ALFONSO MORALES, Freddy Leonardo y ZAMBRANO ORDOÑEZ, Wilmer David. Evaluación De La Producción De Hidrógeno Usando La Bacteria *Clostridium Butyricum* En Un Reactor Tipo CSTR a Escala Laboratorio. Bogotá, D. C.: Fundación Universidad de América, 2011

UGWU, CU; AOYAGI, H. y UCHIYAMA, H. Photobioreactors for mass cultivation of algae. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. vol. 99, no. 10, p. 4021-4028

VILLADSEN, John; NIELSEN, Jens y LIDEN, Gunnar. Design of Fermentation Processes. En: Springer US. Bioreaction Engineering Principles. 13 de Junio de 2011. 443 p

WALAS, Stanley, et. al. Chemical Process Equipment Selection and Design. 2nd ed.
Burlington: Elsevier, 2005. 814-XVI p. ISBN 0-7506-7510-1

ANEXO A
TABLAS DE CATEGORIZACIÓN

Cuadro 9. Categoría sistema Batch.

CATEGORIA Sistema Batch		
Tipo de información	Título	Autores
Libro	Principios de ingeniería de los bioprocesos	DORAN P
Libro	Bioprocess engineering	SHULER, M., et al.
Libro	Biochemical aspect of bioreactor design	PANDA, T.
T. Grado	Evaluación de un fotobiorreactor a escala banco para el cultivo de microalgas y la generación de biomasa	RUIZ, Steven y SIERRA, Jennifer
T. Grado	Propuesta de diseño de un bioreactor a escala de laboratorio para la producción de H ₂	MORENO, G., et al.
T. Grado	Implementación de la mejora operacional del fbr air-lift para la producción de biomasa microalgal	CRUZ, Ana y POVEDA, Jessika.
T. Grado	Evaluación de la incidencia de la temperatura en la producción de lípidos obtenidos a partir de biomasa microalgal a escala laboratorio	ALCALA, Camilo y GUAUQUE, Ingrid.
T. Grado	Evaluación en la incidencia de nitrógeno en el medio de cultivo bold basal para la producción de biomasa de la microalga <i>Chlorella vulgaris</i> en un fotobiorreactor para la obtención de ácidos grasos	CRUZ, María y PIMIENTA, Wendy.
T. Grado	Evaluación de la influencia lumínica sobre la producción de biomasa y lípidos a partir de la microalga <i>Chlorella vulgaris</i> en un fotobiorreactor	CALDERON, Sara y RAMIREZ, Diana.

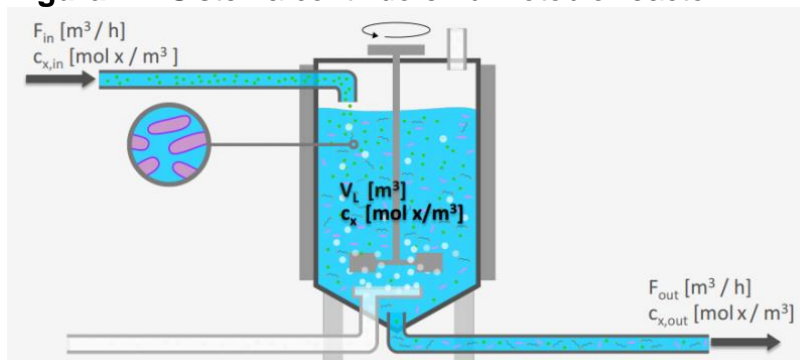
Cuadro 10. Categoría Sistema continuo

CATEGORIA Sistema continuo		
Tipo de información	Título	Autores
T. Grado	Diseño, construcción y puesta en marcha de un fotobiorreactor piloto para el crecimiento de la microalga <i>Chlorella</i> sp en el laboratorio de biotecnología y energías renovables de la empresa eléctrica Quito.	SANDOVAL, M.
T. Grado	Evaluación de la producción de hidrógeno usando la bacteria <i>Clostridium butyricum</i> en un reactor CSTR a escala laboratorio	ALONSO, F., et al.
Libro	Growth and synthesis fermenters, bioreactors and biomolecular synthesizers	HOCHFELD, W.
Libro	Brock biología de los microorganismos	MODIGAN, M., et al.
Libro	Bioprocess engineering	SHULER, M., et al.
Libro	Principios de ingeniería de los bioprocesos	DORAN P
Libro	Methods in microbiology	NORRIS J y RIBBONS D
Libro	Biochemical aspect of bioreactor design	PANDA, T.
Artículo	Optimal design of multistage chemostats in series using different microbial growth kinetics	QASIM, Muhammad
Artículo	Large-scale turbidostat culture of marine microalgae.	LAING, J y JONES, E
Artículo	Development and validation of a minimal growth medium for recycling <i>Chlorella vulgaris</i> culture	ROMDHANE, F., et al.
Artículo	Continuous cultivation of photosynthetic microorganisms: approaches applications and future trends	FERNANDES, B., et al.
Artículo	Influence of limiting factors on biomass and lipid productivities of axenic <i>Chlorella vulgaris</i> in photobioreactor under chemostat cultivation	CHO, Dae-hyun., et al.
Artículo	Real-time monitoring and automatic density control of large-scale microalgal	SANDNES J., et al.

ANEXO B BALANCES DE MASA

- **Balance de biomasa.** En la figura 10 se observa el esquema de un sistema continuo para un fotobiorreactor. En primer lugar, se escribió la ecuación general de balance.

Figura 11. Sistema continuo en un fotobiorreactor



Fuente. IB01X INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY. Learning about the microorganism: q-rates and chemostat. [internet]. Edx, delf university of technology, 2015.

Ecuación 31. Ecuación general de balance

$$\text{Acumulación} = \text{producción} + \text{entrada} - \text{salida}$$

Al utilizar la ecuación 22 en términos de biomasa para un sistema continuo se debe tener en cuenta los flujos de entrada y salida de biomasa, la acumulación dentro del fotobiorreactor y el crecimiento celular.

Ecuación 32. Balance de biomasa general para un sistema continuo

$$\frac{d}{dt} (V_L(t) \times C_x(t)) = \mu V_L(t) C_x(t) + F_{in} C_{x,in} - F_{out} C_{x,out}$$

Fuente: SHULER, Michael y KARGI, Fikret. Bioprocess Engineering. New Jersey: Prentice Hall PTR: Englewood Cliffs, 1992. 479 p.

Dónde:

V_L = Volumen de operación [m^3]

c_x = Concentración de biomasa en el fotobiorreactor [$\frac{mol\ x}{m^3}$]

μ = Velocidad específica de crecimiento [h^{-1}]

F_{in} = Flujo de entrada [$\frac{m^3}{h}$]

F_{out} = Flujo de Salida [$\frac{m^3}{h}$]

$c_{x,in}$ = Concentración de entrada [$\frac{mol\ X}{m^3}$]

$C_{x,out}$ = Concentración de salida $\left[\frac{\text{mol X}}{\text{h}}\right]$.

Para el sistema se tuvo varias consideraciones

- No hay acumulación: Se considera que el sistema está en estado estacionario cuando el sistema continuo esté operando, por lo tanto, el término $\frac{d}{dt}(V_L(t)C_x(t)) = 0$.
- La concentración de biomasa en el fotobiorreactor es igual a la concentración de biomasa del flujo de salida, por lo cual $C_x = C_{x,out}$.
- Se supone que en el flujo de entrada no hay presencia de microorganismos por lo cual el término $F_{in}C_{x,in} = 0$.

Teniendo estas consideraciones el balance de biomasa general queda simplificado a la ecuación 24.

Ecuación 33. Balance de biomasa simplificada

$$0 = \mu V_L(t)C_x(t) - F_{out}C_x$$

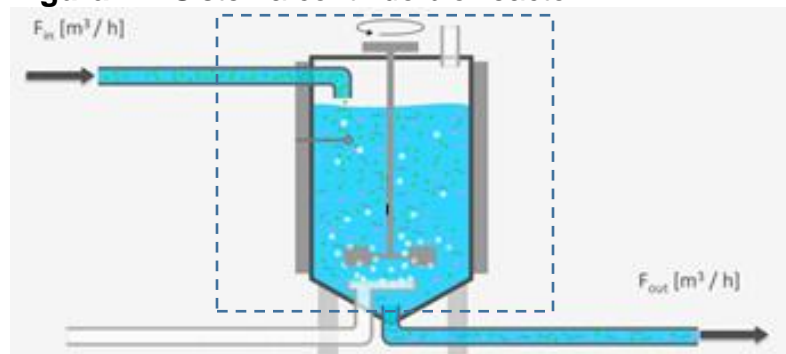
Al despejar el flujo de salida de la ecuación 24 se llega a la siguiente expresión matemática.

Ecuación 34. Balance de biomasa simplificada para un sistema continuo

$$F_{out} = \mu \times V_L .$$

- **Balance del sistema.** Como se observa en la figura 11, para el balance del sistema se tiene en cuenta solamente los flujos de entrada y salida del sistema sustituyendo en la ecuación 22 se llega a la ecuación 26.

Figura 12. Sistema continuo biorreactor



Fuente: IB01X INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY. Learning about the microorganism: q-rates and chemostat. [internet]. Edx, delf university of technology, 2015.

Ecuación 35. Balance de materia para el fotobiorreactor

$$\frac{d}{dt}(\rho V_L) = F_{in}\rho_{in} - F_{out}\rho_{out}$$

Dónde:

$$F_{in} = \text{Flujo de entrada} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$F_{out} = \text{Flujo de salida} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$\rho_{in} = \text{Densidad de entrada} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho_{out} = \text{Densidad de salida} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right].$$

Como el sistema se encuentra en estado estacionario el término de acumulación es 0, despejando el flujo de entrada de la ecuación 27 se llega del flujo de entrada.

Ecuación 36. Flujo de entrada para el sistema continuo

$$F_{in} = \frac{F_{out}\rho_{out}}{\rho_{in}}$$

ANEXO C CÁLCULOS DE FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA

- **Flujo de salida:** Para el flujo de salida se necesitaron las velocidades de crecimiento específico, por una parte, se encontró estas velocidades en el trabajo de López, Torres, por lo cual no fue necesario calcular la velocidad específica.

Tabla 15. Velocidad de crecimiento específica

Velocidad de crecimiento (s ⁻¹)
4,3 E-07
1,1 E-06
6,1 E-07
6,5 E-07

Fuente: López, Torres.

Por otro lado, se encontró el tiempo de retención el cual es de 2,31 días, al aplicar la ecuación 2 se obtiene la velocidad específica.

$$D = \frac{1}{2,31 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ segundos}} = 5,0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Con el volumen de operación del fotobiorreactor Air-lift y la velocidad de crecimiento se encuentra los flujos de salida con la ecuación 1.

$$F_{out} = 4,3 \text{ E} - 07 \text{ s}^{-1} \times 1,6 \text{ E} - 03 \text{ m}^3 = 1,8 \text{ E} - 09 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Se realiza el mismo procedimiento para cada valor y los resultados se encuentran en la tabla 8.

- **Flujo de entrada:** Para calcular el flujo de entrada se requiere conocer las densidades, en la tabla 16 se encuentra los datos obtenidos en la práctica de laboratorio para la densidad, se realizó para cada prueba tres repeticiones con el fin de obtener datos precisos.

Tabla 16. Datos obtenidos del laboratorio para la densidad

Sustancia	Picnómetro vacío (g)	Picnómetro lleno (g)	Volumen del picnómetro (mL)
Biomasa	21,267	46,309	25
	21,265	46,299	25
	21,323	46,260	25
Medio de cultivo	24,748	48,081	25
	24,792	48,085	25
	24,701	48,104	25

Con la ecuación 5 se calculó la densidad para cada valor, se tomó un promedio con los valores de cada repetición.

$$\rho = \frac{46,309 - 21,267}{25} = 1,00168 \frac{\text{g}}{\text{mL}} = 1001,68 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Tabla 17. Densidad de la biomasa y medio de cultivo

Sustancia	Densidad (Kg/m ³)	Densidad promedio (Kg/m ³)
Biomasa	1001,696	1000,176
	1001,368	
	997,464	
	933,328	
Medio de cultivo	931,724	933,721
	936,112	

De acuerdo a la tabla 17 la densidad tanto de la biomasa como del medio de cultivo son muy parecidas, de hecho, la relación de densidad de la biomasa con respecto al del medio de cultivo es de 1,07, en consecuencia, el flujo de entrada al fotobiorreactor será levemente mayor con respecto al flujo de salida.

Con las densidades del medio de cultivo y de la biomasa y los flujos de salida se calculó el flujo de entrada por medio de la ecuación 4.

$$F_{in} = \frac{1000,176}{933,721} \times 6,8 \times 10^{-10} = 7,3 \times 10^{-10} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

De igual modo que el flujo de salida, se calcula el segundo flujo de entrada el cual también será un rango de flujos.

ANEXO D CÁLCULOS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

- **Cálculos de los tanques.** El volumen de operación se calcula mediante la ecuación 11, de la cual se toma un tiempo de 15 días (1'296.000 s) con un flujo de $8,6 \text{ E-}09 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$V_{\text{operacional}} = 8,6 \text{ E} - 09 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1296000 \text{ s} = 0,011 \text{ m}^3$$

El volumen que se requiere para un funcionamiento de 15 días es de $0,011 \text{ m}^3$, se calcula el volumen total con la ecuación 12.

$$v_{\text{total}} = \frac{0,011 \text{ m}^3}{0,8} = 0,014 \text{ m}^3$$

Con el volumen del tanque de $0,014 \text{ m}^3$, se calcula el radio y la altura con las ecuaciones 13 y 14.

$$R = \sqrt[3]{\frac{0,014 \text{ m}^3}{2 \times 3 \times \pi}} = 0,09 \text{ m}$$

$$H = 3 \times 0,09 \text{ m} \times 2 = 0,54 \text{ m}$$

Por último, se calcula también la altura de operación del medio de cultivo con la ecuación 15.

$$H_{\text{operación}} = \frac{V_{\text{operación}}}{R^2 \times \pi} = \frac{0,011 \text{ m}^3}{(0,09 \text{ m})^2 * 3,14} = 0,43 \text{ m}$$

Para el caso de la biomasa se toma el mayor flujo de salida el cual es de $8.0 \text{ E-}9 \text{ m}^3/\text{s}$, se aplican solamente la ecuación 11 y 15.

$$v_L = 8,0 \text{ E} - 09 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1296000 \text{ s} = 0,010 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{operación}} = \frac{V_{\text{operación}}}{R^2 \times \pi} = \frac{0,010 \text{ m}^3}{(0,09 \text{ m})^2 * 3,14} = 0,39 \text{ m}$$

ANEXO E CÁLCULOS DE LA POTENCIA DE LAS BOMBAS

Para los cálculos de la potencia de la bomba se siguió la metodología de la hoja de cálculo de Mott. En este anexo se presentarán los respectivos cálculos para la primera propuesta de diseño y así mismo se hicieron los de la segunda y la tercera propuesta.

- **Puntos de referencia.** Estos cuatro puntos de referencia están a presión atmosférica, por este motivo la presión manométrica será de 0; para los puntos 1,3 y 4 se consideró que la velocidad del fluido es prácticamente cero, puesto que el tamaño del tanque es mayor en comparación con el tamaño de área de flujo de la manguera y además la velocidad con la que fluye el fluido desde o hacia los tanques es muy bajo, para la carga de velocidad del punto 2 se tuvo en cuenta la velocidad en la manguera la cual se calculó con el diámetro de la manguera para calcular su área transversal y el flujo de entrada al fotobiorreactor.

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 = \frac{3,14}{4} \times (6,35 \text{ E} - 3\text{m})^2 = 3,17\text{E} - 5 \text{ m}^2$$

Para el caso de la zona de carga se maneja un flujo de $8,6 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que para la zona de descarga se maneja un flujo de $8,0 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$, se calcula por medio de la ecuación 20.

$$v = \frac{8,6 \text{ E} - 9 \text{ m}^3/\text{s}}{3,17\text{E} - 5 \text{ m}^2} = 2,71 \text{ E} - 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Finalmente se calcula la carga de velocidad para la zona de carga.

$$\text{Carga de velocidad} = \frac{\left(2,71\text{E} - 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3,75\text{E} - 9 \text{ m}$$

- **Perdidas menores.** Para el caso de las pérdidas menores se toma la sumatoria realizadas por las pérdidas calculadas en la entrada y salida de las mangueras al tanque y fotobiorreactor respectivamente, la línea de succión y descarga, las dos válvulas y las curvaturas de la línea de la manguera, las cuales se calcularán en forma de codos de 90° alargado y una contracción súbita.

Lo primero que se tiene que hacer es calcular son las velocidades, que faltan como la de zona de descarga y su carga de velocidad.

$$v = \frac{8,01E - 9 \frac{m^3}{s}}{3,17E - 5 m^2} = 2,53E - 4 \frac{m}{s}$$

$$\text{Carga de velocidad} = \frac{\left(2,53E - 4 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,8 \frac{m}{s^2}} = 3,27E - 9 m$$

Como antes de la manguera hay una contracción de diámetro 1,27E-2 m también se calcula su área, velocidad y carga de velocidad.

$$A_t = \frac{\pi}{4} \times (1,27E - 2 m)^2 = 1,27E - 4 m^2$$

$$v = \frac{8,01E - 9 \frac{m^3}{s}}{1,27E - 4 m^2} = 6,33E - 5 \frac{m}{s}$$

$$\text{Carga de velocidad} = \frac{\left(6,33E - 5 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,8 \frac{m}{s^2}} = 2,04E - 10 m$$

Se procede a calcular el número de Reynolds y dependiendo del valor de este se calcula el factor de fricción. Sin embargo antes de eso se necesitan valores de viscosidad. En la tabla 18 se encuentra los valores obtenidos durante la experimentación, adicionalmente para cada tiempo se determina la corrección HC, debido a que algunos datos se encuentran en ciertos intervalos para ello se realizó una interpolación lineal para cada prueba.

Tabla 18. Datos obtenidos en el laboratorio y los valores de la viscosidad cinemática y dinámica

Sustancia	Tiempo (s)	Constante viscosímetro Cannon-Fenske de 100 (m ² /s ²)	Corrección HC (s)
Biomasa	77	1,446x10 ⁻⁸	0,4763
	77	1,446x10 ⁻⁸	0,4763
	77	1,446x10 ⁻⁸	0,4763
	78	1,446x10 ⁻⁸	0,4653
Medio de cultivo	79	1,446x10 ⁻⁸	0,4543
	82	1,446x10 ⁻⁸	0,4213
	81	1,446x10 ⁻⁸	0,4323

Tabla 18. (Continuación)

Sustancia	Tiempo (s)	Constante viscosímetro Cannon-Fenske de 100 (m ² /s ²)	Corrección HC (s)
Medio de cultivo	79	1,446x10 ⁻⁸	0,4543

Se encuentra la viscosidad cinemática (ν) y dinámica (μ) para cada prueba, de la cual se empleó un promedio de cada una.

Tabla 19. Viscosidad promedio de biomasa y medio de cultivo

Sustancia	ν (m ² /s)	μ (Pa *s)	Promedio ν (m ² /s)	Promedio μ (Pa *s)
Biomasa	1,1065x10 ⁻⁶	1,1067x10 ⁻³	1,11019x10 ⁻⁶	1,11038x10 ⁻³
	1,1065x10 ⁻⁶	1,1067x10 ⁻³		
	1,1065x10 ⁻⁶	1,1067x10 ⁻³		
	1,1212x10 ⁻⁶	1,1214x10 ⁻³		
	1,1358x10 ⁻⁶	1,0605x10 ⁻³		
Medio de cultivo	1,1796x10 ⁻⁶	1,1014x10 ⁻³	1,15404x10 ⁻⁶	1,07756x10 ⁻³
	1,1650x10 ⁻⁶	1,0878x10 ⁻³		
	1,1358x10 ⁻⁶	1,0605x10 ⁻³		

Como se observa la biomasa tiene una viscosidad dinámica mayor con respecto a la del medio de cultivo, esto se debe principalmente a la densidad que es mayor con respecto a la del medio de cultivo.

$$Re = \frac{1,27E - 2m \times 6,33E - 5 \frac{m}{s} \times 1000,176 \frac{kg}{m^3}}{1,11E - 3 Pa s} = 0,72$$

$$f_T = \frac{16}{Re} = 22,10$$

Dependiendo de los accesorios se calcula las perdidas menores que producen en la tabla 20 se encuentran las constantes de resistencia de los accesorios y las

válvulas usadas en las propuestas de diseño, estas constantes solo se usan para fluidos no biológicos, para las constantes para la biomasa se encuentran en la tabla 21

Tabla 20. Coeficiente de resistencia para accesorios y válvulas

Accesorios	K
Codo Alargado	$20 \times f_t$
Entrada proyectada	$1 \times f_t$
Tee paso por el ramal	$60 \times f_t$
Tee paso directo	$20 \times f_t$
Válvulas	K
Bola	$3 \times f_t$
Anti-retorno tipo bola	$135 \times f_t$

Tabla 21. Valores de k_1 y k para cálculo de coeficientes de resistencia

Accesorios	K_1	K_∞
Codo 90°: radio largo	800	0,20
T	200	0,10
Entrada proyectada	160	1
Salida	0	1

$$\gamma = 933,721 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9157,01 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma = 1000,176 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9801,72 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

El cálculo de las demás pérdidas, la carga de la bomba y la potencia de la misma se realizó en una hoja de cálculo en Excel para cada zona y los resultados se ven reflejados en las tablas.

- Potencia de la bomba primera propuesta zona de carga.

Fase I: Medio de cultivo al fotobiorreactor					
MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA			SISTEMA DE SERIE DE CLASE I		
OBJETIVO:	POTENCIA DE LA BOMBA		Puntos de referencia para la ecuación de energía		
Segundo calculo			PUNTO 1:	Superficie del depositivo inferior	
			PUNTO 2:	Salida de la manguera al fotobiorreactor	
ATOS DEL SISTEMA:	VALOR	UNIDADES SI	DATOS DEL SISTEMA:	VALOR	UNIDADES SI
Flujo volumetrico:	8,6E-09	m3/s	Elevación en el punto 1	0,434	m
Presión en el punto 1:	0	kPa	Elevación en el punto 2	0,575	m
Presión en el punto 2:	0	kPa			
Velocidad en el punto 1:	0	m/s	Carga de velocidad en el punto 1	0	m
Velocidad en el punto 2:	2,71E-04	m/s	Carga de velocidad en el punto 2	3,75E-09	m
PROPIEDADES DEL FLUIDO					
Peso específico:	9,16	kN/m3	Viscosidad cinemática	1,15E-06	m2/s
TUBERÍA 1			TUBERÍA 2		
Diámetro:	6,35E-03	m	Diámetro:	6,35E-03	m
Longitud:	0,3	m	Longitud:	1	m
Área:	3,17E-05	m2	Área:	3,17E-05	m2
Velocidad del flujo:	2,71E-04	m/s	Velocidad del flujo:	2,71E-04	m/s
Carga de velocidad:	3,75E-09	m	Carga de velocidad:	3,75E-09	m
Número de Reynolds:	1,49		Número de Reynolds:	1,49	
Factor de fricción:	42,90		Factor de fricción:	42,90	
PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA	K	CANTIDAD			FRICCIÓN
Elemento 1	1	1	Pérdida de energía h1	3,74857E-09	Entrada
Elemento 2	2026,566	1	Pérdida de energía h2	7,59672E-06	Succion
Elemento 3	128,68694	1	Pérdida de energía h3	4,82391E-07	Valvula
PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA	K	CANTIDAD			FRICCIÓN
Elemento 4	857,91293	3	Pérdida de energía h4	9,64783E-06	Curvas
Elemento 5	6755,2199	1	Pérdida de energía h5	2,53224E-05	Descarga
Elemento 6	1	1	Pérdida de energía h6	3,74857E-09	Salida
RESULTADOS			PÉRDIDA TOTAL DE LA ENERGÍA:	4,31E-05	m
			CARGA TOTAL SOBRE LA BOMBA:	0,141269	m
			POTENCIA AGREGADA AL FLUIDO	1,11E-08	kW
			POTENCIA EN hp	1,49E-08	hp

- Potencia de la bomba primera propuesta zona de descarga.

Fase II: Fotobiorreactor a la biomasa						
MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA			SISTEMA DE SERIE DE CLASE I			
OBJETIVO:	POTENCIA DE LA BOMBA		Puntos de referencia para la ecuación de energía			
Segundo calculo			PUNTO 3:	Superficie del fluido en el FBR		
			PUNTO 4:	Salida de la manguera al fotobiorreactor		
DATOS DEL SISTEMA:	VALOR	UNIDADES SI	DATOS DEL SISTEMA:	VALOR	UNIDADES SI	
Flujo volumetrico:	8,0E-09	m ³ /s	Elevación en el punto 3	0,451	m	
Presión en el punto 3:	0	kPa	Elevación en el punto 4	0,512	m	
Presión en el punto 4:	0	kPa				
Velocidad en el punto 3:	0	m/s	Carga de velocidad en el punto 1	0	m	
Velocidad en el punto 4:	2,53E-04	m/s	Carga de velocidad en el punto 2	3,27E-09	m	
PROPIEDADES DEL FLUIDO						
Peso específico:	9,81	kN/m ³	Viscosidad cinemática	1,11E-06	m ² /s	
TUBERÍA 1			TUBERÍA 2			
Diámetro:	1,27E-02	m	Diámetro:	6,35E-03	m	
Longitud:	0,01	m	Longitud:	0,25	m	
Área:	1,27E-04	m ²	Área:	3,17E-05	m ²	
Velocidad del flujo:	6,33E-05	m/s	Velocidad del flujo:	2,53E-04	m/s	
Carga de velocidad:	2,04E-10	m	Carga de velocidad:	3,27E-09	m	
Número de Reynolds:	0,72		Número de Reynolds:	1,45		
Factor de fricción:	22,10		Factor de fricción:	11,05		
PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TUBERÍA 1:		K	CANTIDAD	FRICCIÓN		
Elemento 1	222,01211	1	Pérdida de energía h1	4,53319E-08	Entrada*	
Elemento 2	3333,1817	1	Pérdida de energía h2	1,09E-05	Adaptador	
Elemento 3	4,35E+02	1	Pérdida de energía h3	1,42134E-06	Succion	
Elemento 4	276,56514	1	Pérdida de energía h4	5,64708E-08	T	
Elemento 5	553,53029	1	Perdida de energia h5	1,80837E-06	Curva	
PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TUBERÍA 3:		K	CANTIDAD	FRICCIÓN		
Elemento 6	1740,2529	1	Pérdida de energía h1	5,68538E-06	Descarga	
Elemento 7	553,53029	3	Perdida de energia h2	5,43E-06	Curva	
Elemento 8	1	1	Pérdida de energía h3	3,26698E-09	Salida	
RESULTADOS				PÉRDIDA TOTAL DE LA ENERGÍA:	2,53E-05	m
				CARGA TOTAL SOBRE LA BOMBA:	0,0610253	m
				POTENCIA AGREGADA AL FLUIDO	4,80E-09	kW
				POTENCIA EN hp	6,44E-09	hp

- Potencia de la bomba segunda propuesta zona de carga.

Fase I: Medio de cultivo al fotobiorreactor							
MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA			SISTEMA DE SERIE DE CLASE I				
OBJETIVO:	POTENCIA DE LA BOMBA		Puntos de referencia para la ecuación de energía				
Tercer calculo			PUNTO 1:	Superficie del depositvo inferior			
			PUNTO 2:	Salida de la manguera al fotobiorreactor			
DATOS DEL SISTEMA:	VALOR	UNIDADES SI	DATOS DEL SISTEMA:	VALOR	UNIDADES SI		
Flujo volumetrico:	8,6E-09	m3/s	Elevación en el punto 1	0,484	m		
Presión en el punto 1:	0	kPa	Elevación en el punto 2	0,575	m		
Presión en el punto 2:	0	kPa					
Velocidad en el punto 1:	0	m/s	Carga de velocidad en el punto 1	0	m		
Velocidad en el punto 2:	2,71E-04	m/s	Carga de velocidad en el punto 2	3,75E-09	m		
PROPIEDADES DEL FLUIDO							
Peso específico:	9,16	kN/m3	Viscosidad cinemática	1,15E-06	m2/s		
TUBERÍA 1			TUBERÍA 2				
Diámetro:	6,35E-03	m	Diámetro:	6,35E-03	m		
Longitud:	0,3	m	Longitud:	1	m		
Área:	3,17E-05	m2	Área:	3,17E-05	m2		
Velocidad del flujo:	2,71E-04	m/s	Velocidad del flujo:	2,71E-04	m/s		
Carga de velocidad:	3,75E-09	m	Carga de velocidad:	3,75E-09	m		
Número de Reynolds:	1,49		Número de Reynolds:	1,49			
Factor de fricción:	42,90		Factor de fricción:	42,90			
PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TUBERÍA 1:	K	CANTIDAD	FRICCIÓN				
Elemento 1	1	1	Pérdida de energía h1	3,74857E-09	entrada		
Elemento 2	2026,565978	1	Pérdida de energía h2	7,59672E-06	succion		
Elemento 3	128,6869396	1	Pérdida de energía h3	4,82391E-07	valvula		
Elemento 4	857,9129306	1	Pérdida de energía h4	3,21594E-06	curvas		
PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TUBERÍA 2:	K	CANTIDAD	FRICCIÓN				
Elemento 5	857,9129306	3	Pérdida de energía h4	9,64783E-06	curvas		
Elemento 6	6755,219926	1	Pérdida de energía h5	2,53224E-05	descarga		
Elemento 7	1	1	Pérdida de energía h6	3,74857E-09	salida		
RESULTADOS			PÉRDIDA TOTAL DE LA ENERGÍA:				
						4,63E-05	m
			CARGA TOTAL SOBRE LA BOMBA:			0,0912723	m
			POTENCIA AGREGADA AL FLUIDO			7,18E-09	kW
			POTENCIA EN hp				
			9,62E-09				
			hp				

- Potencia de la bomba segunda propuesta zona de descarga.

Fase II: Fotobiorreactor a la biomasa					
MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA			SISTEMA DE SERIE DE CLASE I		
OBJETIVO:	POTENCIA DE LA BOMBA		Puntos de referencia para la ecuación de energía		
Tercer calculo			PUNTO 3:	Superficie del fluido en el FBR	
			PUNTO 4:	Salida de la manguera al fotobiorreactor	
DATOS DEL SISTEMA:	VALOR	UNIDADES SI	DATOS DEL SISTEMA:	VALOR	UNIDADES SI
Flujo volumetrico:	8,0E-09	m3/s	Elevación en el punto 3	0,451	m
Presión en el punto 3:	0	kPa	Elevación en el punto 4	0,462	m
Presión en el punto 4:	0	kPa			
Velocidad en el punto 3:	0	m/s	Carga de velocidad en el punto 1	0	m
Velocidad en el punto 4:	2,53E-04	m/s	Carga de velocidad en el punto 2	3,27E-09	m
PROPIEDADES DEL FLUIDO					
Peso específico:	9,81	kN/m3	Viscosidad cinemática	1,11E-06	m2/s
TUBERÍA 1			TUBERÍA 2		
Diámetro:	1,27E-02	m	Diámetro:	6,35E-03	m
Longitud:	0,01	m	Longitud:	0,25	m
Área:	1,27E-04	m2	Área:	3,17E-05	m2
Velocidad del flujo:	6,33E-05	m/s	Velocidad del flujo:	2,53E-04	m/s
Carga de velocidad:	2,04E-10	m	Carga de velocidad:	3,27E-09	m
Número de Reynolds:	0,72		Número de Reynolds:	1,45	
Factor de fricción:	22,10		Factor de fricción:	11,05	
PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TUBERÍA 1:	K	CANTIDAD	FRICCIÓN		
Elemento 1	222,01211	1	Pérdida de energía h1	4,53E-08	entrada*
Elemento 2	3333,1817	1	Pérdida de energía h2	1,09E-05	adaptador
Elemento 3	4,35E+02	1	Pérdida de energía h3	1,42E-06	Succion
Elemento 4	553,53029	1	Perdida de energia h4	1,80837E-06	curva
Elemento 5	276,56514	1	Pérdida de energía h5	5,65E-08	T
PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TUBERÍA 3:	K	CANTIDAD	FRICCIÓN		
Elemento 1	1,74E+03	1	Pérdida de energía h1	5,69E-06	descarga
Elemento 2	553,53029	3	Perdida de energia h2	5,43E-06	curva
Elemento 3	1	1	Pérdida de energía h3	3,26698E-09	salida
RESULTADOS			PÉRDIDA TOTAL DE LA ENERGÍA:	2,53E-05	m
			CARGA TOTAL SOBRE LA BOMBA:	1,10E-02	m
			POTENCIA AGREGADA AL FLUIDO	8,67E-10	kW
			POTENCIA EN hp	1,16E-09	hp

ANEXO F CÁLCULOS DE TRABAJO CIZALLA

Para los cálculos del trabajo de cizalla del sistema lo primero que se debe hacer es calcular el trabajo para los accesorios, tuberías, válvulas, salidas, entradas de manguera y bombas que se utilicen en él, por medio de las ecuaciones 6 y 7, como se presenta a continuación

$$W_s = \frac{222,012 \times (6,33E - 5 \text{ m/s})^2}{2} = 4,45E - 7 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

En la tabla 22 se encuentran los valores calculados w_s para cada uno de los accesorios, válvulas, salidas, entradas de tubería. Por otro lado, para este tipo de sistema la bomba escogida no produce fuerza de cizalla, por lo tanto no se tuvo en cuenta en los cálculos totales del trabajo de cizalla.

- **Cálculos de la velocidad de deformación de cizalla.** En cuanto a la velocidad de deformación de cizalla se calcula para cada tramo de la tubería, usando la ecuación 9.

$$\gamma_{\text{avg}} = \frac{2 \times 6,33E - 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,27E - 2 \text{ m}} = 9,97E - 3 \text{ s}^{-1}$$

Tabla 22. Trabajo de cizalla y velocidad de deformación de cizalla.

Trabajo de cizalla										
Tubería 1				Tubería 3						
Elemento	kf	W	unidades	Elemento	kf	W	unidades			
elemento 1	222,012	4,45E-07	J/Kg	Elemento 1	1740,253	5,58E-05	J/Kg			
elemento 2	3333,182	1,07,E-04		Elemento 2	5,32E-05	1,70E-12				
elemento 3	435,063	1,39E-05		Elemento 3	1	3,20E-08				
elemento 4	276,565	5,54E-07		Sumatoria		W total		1,95E-04		
elemento 5	553,530	1,77E-05		$v^2/2$	2,00E-09	$\dot{\gamma}_{\text{avg}}$		9,97E-03	$v^2/2$	3,20E-08

ANEXO G COTIZACIONES

Las siguientes partes y componentes fueron cotizadas durante los meses de abril y mayo del año 2016.

- Válvulas

Tabla 23. Costos de válvulas tipo bola

Tipo de válvula	Material	Precio
Bola	Bronce	8.620 COP + IVA
		14.900 COP + IVA
		5.800 COP + IVA
	Bronce-cromado	6.500 COP + IVA
		4.800 COP + IVA
	Mini Bronce-Cromado	5.700 COP + IVA
	Acero inoxidable 316	73.000 COP + IVA
		22.000 COP + IVA
Nylon	13.400 COP + IVA	

- Bombas

Tabla 24. Costos de bombas peristálticas

Bomba	Modelo	Características	Precio
Digital Master Flex L/S, doble canal	VAC 07525-40	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de 0,004 a 162 mL/min. • Control remoto de velocidad, dirección, inicio y pausa. • Fácil de limpiar. • Potencia de 0,2 a 230 amperios. • Velocidad variable 	7'946.009 COP + IVA ⁵⁴
Hei-Flow	Value 01	<ul style="list-style-type: none"> • Flujos de 0,005 a 4,151mL/min en multicanal. • No provoca daño celular. • Control electrónico de velocidad. 	8'441.088 COP.

⁵⁴ Con el valor del dólar día 30 de mayo 2016.

Tabla 24. (Continuación)

Bombas	Modelo	Características	Precio
PD Peristáltica HAODOLP	Ref. 523-50010-00	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de uso. • Control electrónico de la velocidad. • Flujo de 0,005 a 364 mL/min, multicanal. 	8'547.645,4 COP.
PERISTAL MARCA THOMSON	BT 100-2J	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de 0,0002-380 mL/min. • La velocidad se puede ajustar manual o automáticamente por control externo. • Fácil de operar. • Consumo <30W. 	6'792.000 COP + IVA
Llenadora Líquidos Dosificadora Bomba Peristáltica	SMART PUMP	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de 0.001-3600 mL/min. • Permite flujos continuos o por ciclos. 	2'500.000 COP + IVA
AALBORG PUMP	TPU1AD-EU	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta de 0 a 60 RPM. • Económica. • Puede realizar control con pH 	1'875.987 COP+ IVA

- Manguera

Tabla 25.Costos de mangueras

Mangueras	Tipo	Características	Usos	Precio/m
Manguera Siliconada	Grado medico	<ul style="list-style-type: none"> • Atoxica. • Flexible y resistente a la tracción. • Esterilizable. • Reusable. • Evita la contaminación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de líquidos o semi-líquidos en la industria alimentaria, farmacéutica, laboratorios y hospitalaria. 	8.000 COP + IVA
				15.200 COP + IVA
				19.500 COP + IVA
				22.929 COP + IVA
Manguera Tygon	Línea azul.	<ul style="list-style-type: none"> • Es una manguera lisa. • Evita la contaminación por microorganismos. • Resistente a alcalinos fuertes y desinfectantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Llenado y trasvaso de soluciones estériles. • Industria alimenticia. 	26.900 COP + IVA
	Químicos 2075	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a químicos agresivos. • Superficie lisa • Hidrofóbica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Llenado de bacterias. • Producción de químicos. 	71.590 COP + IVA

- Tanques

Tabla 26.Costos de tanques

Partes	Material	Precio para cada tanque	Incluye
Tanque	Polipropileno	133.900 COP + IVA	Cuerpo del tanque.
			Tapa del tanque.
	Acrílico	98.000 COP + IVA	Cuerpo del tanque.
	Polipropileno	14.100 COP + IVA	Tapa del tanque

- Accesorios

Tabla 27. Costos de accesorios.

Accesorios	Material	Precio
Adaptador 1/2" hembra a 1/4" manguera.	Nylon	6.840 COP + IVA
	Acero al carbón	12.000 COP + IVA
Reductor 1/2" hembra a 1/4" macho.	Nylon	4.950 COP + IVA
	Bronce	5.920 COP + IVA
Adaptador 1/4" hembra a 1/4" manguera.	Nylon	2.300 COP + IVA
		6.360 COP + IVA
	Acero al carbón	2.972 COP + IVA
Adaptador 1/2" macho a 1/2" hembra.	Nylon	6.130 COP + IVA
	Acero al carbón	7.820 COP + IVA
Adaptador 3/8" hembra a 1/4" manguera.	Acero al carbón	3.640 COP + IVA
	Nylon	3.680 COP + IVA
Empaque 1/2"	Viton	1.360 COP + IVA
Empaque 1/4"	Viton	1.070 COP + IVA
Microfiltro	membrana de PTFE	32.266 COP + IVA
Tapa FBR	Polipropileno	40.000 COP + IVA
Llave doble tipo liviana 1/2" con cierre bilateral	Plástica	21.900 COP + IVA
Llave terminal plástica jardín 1/2"	Plástica	5.700 COP + IVA

- Soporte de los tanques

Tabla 28. Costos de los soportes

Material	Costos
Polipropileno de alta densidad	148.000 COP + IVA
Aluminio	663.200 COP + IVA
Acero inoxidable	1'421.800 COP + IVA

- pH-metros

Tabla 29. Costos de los pH-metros.

pH-metro	Modelo	Característica	Costo
Sensor de PH +GF+ Signet	3-2724-00	<ul style="list-style-type: none"> • pH (0,00 - 14,00) • Incluye buffer pH 4 a 7, solución de limpieza de electrodo y de almacenamiento. 	872.260 COP + IVA
pH-metro portátil con electrodo plástico (compensación de temperatura automática)	9811-5	<ul style="list-style-type: none"> • pH (0,00 - 14,00) • (+/-0,01ph) • Incluye buffer pH 4 a 7, solución de limpieza de electrodo y de almacenamiento. 	984.950 COP + IVA
pH-metro portátil con electrodo plástico (compensación de temperatura manual)	350271	<ul style="list-style-type: none"> • pH (-2,00 - 16,00) • (+/-0,01ph) • Incluye buffer pH 4 y 7 y potasio cloruro 3m 	1'333,000 COP + IVA
pH-metro portátil con electrodo en vidrio (compensación de temperatura manual)	350271-V	<ul style="list-style-type: none"> • pH (-2,00 – 16,00) • (+/-0,01ph) • Incluye buffer pH 4 y 7 y potasio cloruro 3m 	1'373,000 COP + IVA
pH-metro portátil con electrodo plástico (compensación de temperatura automática)	370271	<ul style="list-style-type: none"> • mv (+/- 1999,9) • (+/-0,01ph) • Almacenamiento de datos • Incluye buffer pH 4 y 7 y potasio cloruro 3m 	1,736,000 COP + IVA
pH-metro portátil con electrodo en vidrio (compensación de temperatura automático)	370271-V	<ul style="list-style-type: none"> • mv (+/- 1999,9) • (+/-0,01ph) • Almacenamiento de datos • Incluye buffer pH 4 y 7 y potasio cloruro 3m 	1'776,000 COP + IVA
pH-metro de mesa con electrodo plástico (compensación de temperatura automático)	351001-P	<ul style="list-style-type: none"> • Resolución 0.01 pH • mv (+/- 1999,9) • Almacenamiento de datos • Incluye soporte para electrodo • Buffer pH 4 y 7 y potasio 	3'336,000 COP + IVA

Tabla 29.(Continuación)

pH-metro	Modelo	Característica	Costo
pH-metro de mesa con electrodo de vidrio (compensación de temperatura automático)	351001	<ul style="list-style-type: none">• Resolución 0.01 pH• mv (+/- 1999,9)• Almacenamiento de datos• Incluye soporte para electrodo• Buffer pH 4 y 7 y potasio	3'376,000 COP + IVA
pH-metro de mesa con electrodo plástico (compensación de temperatura automático)	352001-P	<ul style="list-style-type: none">• Resolución 0.01 pH• mv (+/- 1999,9)• Alarma• Incluye soporte para electrodo• Buffer pH 4 y 7 y potasio	5'041,000 COP + IVA
pH-metro de mesa con electrodo de vidrio (compensación de temperatura automático)	352001	<ul style="list-style-type: none">• Resolución 0.01 pH• mv (+/- 1999,9)• Alarma• Incluye soporte para electrodo• Buffer pH 4 y 7 y potasio	5'081,000 COP + IVA

REPRESENTANTE EXCLUSIVO PARA COLOMBIA DE:

COLE PARMER - OAKTON - MASTERFLEX - T.A. INSTRUMENTS - HUNTERLAB - THERMO FISHER - ATLAS MATERIAL TESTING - SCHMIDT + HAENSCH - HORIBA - SDL ATLAS TEXTILE TESTING SOLUTIONS - DIONEX - TEXTECHNO - LENZING INSTRUMENTS - DAVIS INSTRUMENTS - L.A.B. EQUIPMENT, Inc.

Bogotá D.C., 26 de abril de 2016

NIT: 860351784-1.

Regimen común

Señores:

UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

Att.: Dr. CRISTIAN MIGUEL GUTIERREZ

Lo invitamos a visitar nuestra página web:
www.lanzettarengifo.com.co

Ref: MF 23972/0

Av. Circunvalar No. 20-53
3376680
Bogota D.C
Cundinamarca

Estimados Señores:

De acuerdo con su solicitud, con mucho gusto estamos cotizando los siguientes artículos de la Casa COLE PARMER de quien somos Distribuidores exclusivos para el país.

It.	Cant.	Descripción	Referencia	Valor Unitario	V. Total Sin IVA
1	1	<p>Bomba digital Masterflex L / S, doble canal, 300 RPM, 115/230 VAC 07525-40</p> <p>* Flujo de 0,004 a 162 ml / min (dependiendo tamaño de tubería seleccionada)</p> <p>* Cuenta con un sensor de apertura de cabeza para el convertidor cuando se abre el cabezal de la bomba.</p> <p>* Calibración de la tubería garantiza la precisión</p> <p>* El control remoto de velocidad, dirección y inicio/ parada/ a través del conector de 25 pines en la parte posterior de la unidad</p> <p>* Esta bomba compacta, apilable cuenta con una carcasa de ABS resistente, fácil de limpiar. El cabezal de la bomba Miniflex cuenta con un ángulo de oclusión de ancho que impide el reflujo del fluido hasta la presión nominal de la tubería. Autolubricantes rodillos de poliéster termoplástico son de baja fricción y larga duración para un funcionamiento suave y larga vida.</p> <p>velocidad de flujo Max (ml / min) 162 velocidad de flujo Min (ml / min) 0,004 Tipo de control Velocidad variable Potencia (amperios) 0,2 a 230 VAC Motor reversible Sí rpm 0,1-300 Clasificación IP IP33 Dimensiones 7 "x 5,5" x 6,2 " (17,8 x 14,0 x 15,7 cm) Control de velocidad ± 0,1%</p>	MF 07525-40	US 2.232,00	US 2.232,00
2	1	<p>Manguera Tygon E-Lab (E-3603) L/S13</p> <p>Paquete : 15.2 cm</p> <p>Especificaciones: Tipo de producto: Manguera para bomba</p>	MF 06509-13	US 52,99	US 52,99

PAGINA 1 DE 3

CARRERA 14 # 82 - 41 PISO 3 PBX: 6110983 FAX: 6110795 A.A 091133
www.lanzettarengifo.com.co e mail ventas: ventas@lanzettarengifo.com.co BOGOTA D.C., COLOMBIA

Serie de la bomba: L/S Formulación de la manguera: Tygon Metodo de Esterilización: Autoclave, Oxido de Etileno Rango de temperatura: - 50°C (-58° F) a 74°C (165° F) Tamaño de la manguera L/S: 13 DI de la manguera: 0.8 mm (0.03 in) Grosor: 0.0625 in Certificación de la resina: FDA Longitud por paquete: 15.2 cm (50 pies) Vacío máximo: 26 " Hg (660 mm Hg) Rango de flujo con un motor de 6 a 600 rpm: 0.36 a 36 ml/min Presión máxima: 25 psi (1.725 bar) Presión continua máxima: 40 psi (2.7 bar) Succión: 29 pies de H2O (8.8 m de H2O) Marca: Masterflex			
		SUBTOTAL 1	US 2.284,99
		TOTAL SIN IVA	US 2.284,99
		I.V.A. Actualmente el 16 %	US 365,60
		Transporte	US 0,00
		TOTAL	US 2.650,59

Para órdenes de compra hasta de \$300.000 pesos la forma de pago será 100% anticipado y la entrega será en las oficinas de Lanzetta Rengifo Bogotá, para clientes fuera de la ciudad de Bogotá deberán asumir el costo del envío hasta sus instalaciones.

INSTALACIÓN Y ENTRENAMIENTO

No incluye instalación

OBSERVACIONES

CONDICIONES COMERCIALES

Término Incoterm: DDP
 Plazo de Entrega: 60 Días calendario a partir de la recepción de la Orden de Compra
 Plazo de Despacho:
 Lugar de entrega: Direccion Inicial: Av. Circunvalar No. 20-53 - Bogota D.C - Cundinamarca - Colombia
 Validez de la Oferta: 30 días fecha de cotización.
 Condición de Pago: 30 días Fecha de Factura liquidado a la TRM del día del desembolso
 Garantía: Un año para partes y piezas por defectos de fabricación. No cubre consumibles. NOTA: La garantía es de 12 meses a partir de la entrega del equipo.

LA GARANTÍA SÓLO SERÁ EFECTIVA PARA LOS EQUIPOS QUE EN COLOMBIA SEAN ADQUIRIDOS A TRAVÉS DE LANZETTA RENGIFO Y CIA SAS.

Al aprobar los elementos aquí cotizados, favor elaborar una Orden de Compra a nombre de LANZETTA RENGIFO Y CIA SAS. NIT 860.351.784-1, incluyendo la referencia de nuestra cotización, la dirección donde debe ser entregado el pedido y su NIT.

Agradecemos una vez más su interés en nuestros productos y esperamos la confirmación de su pedido.

Por favor enviar su orden de compra al correo de su representante comercial y a ventas@lanzettarengifo.com.co.

Atentamente,

Andrea Ramirez

Representante Comercial

aramirez@lanzettarengifo.com.co

Celular: 320-4227868

PBX: 611 09 83

PAGINA 3 DE 3

CARRERA 14 # 82 - 41 PISO 3 PBX: 6110983 FAX: 6110795 A.A 091133
www.lanzettarengifo.com.co e mail ventas@lanzettarengifo.com.co BOGOTA D.C., COLOMBIA



BOMBA PERISTATICA

REF. 523-52010-00 MARCA HAODOLP



Bomba incluye normas principales de seguridad y características de facilidad de uso y un menor coste de propiedad , además de :
Ajuste la velocidad variable de 10 a 120 rpm en el botón de control analógico. Su velocidad se mantiene constante incluso bajo cargas variables Estos modelos cuentan con control electrónico de velocidad a una tasa de precisión de $\pm 2 \%$
Al pulsar un botón de la bomba funciona en sentido horario o antihorario. Los caudales de 0,65 a 861 ml / min con cabezales de bomba de un solo canal. Esta unidad de bomba es adecuada para el funcionamiento del multicanal Caudales multicanal de 0,005 a 364 ml / min Mejora tus Hei -FLOW Valor 01 para la operación de varios canales en cuestión de minutos con un adaptador de cabezal de la bomba



SP QUICK



Cambios rápidos y convenientes tubo Sistema debido a 5 rodillos
baja pulsación Cabezal de la bomba cuenta con rodamientos de
bolas Rodillos de acero inoxidable Para tubos con un espesor
de pared 1,6 mm o 2,5 mm (wt) Dependiendo de
accionamiento y el tubo , el caudal varía de 0,38 a 3,436 ml
por minuto



Oferta de Equipos y suministros para Laboratorio

Cotización FV03-V5 No. 35065
Fecha: 02/05/2016 Atención: ING. CRISTIAN GUTIERREZ Validez: 02/06/2016 Forma Pago: CONTADO Asesor: Noemy Nemocon

Señores: CRISTIAN GUTIERREZ Dirección: CRA.78 No.65-46 C.C o NIT: 890980134 Telefono: E-Mail: crisgu12@hotmail.com

Item	Ref.	Producto	Marca	Presentación	Cant.	Entrega	Vr.Unitario	Vr.Total	IVA Vigente
1	BDLNI	BOMBA DE UNIDAD PD PERISTATICA REF. 523-50010-00 MARCA HEIDOLPH	No Manufacturer	UNIDAD	1	15/06/2016	\$5.636.040	\$5.636.040	\$901.766,40
2	BDLNI	MANGERA EN SILICONA SP QUICK REF.525-30028-00 MARCA HEIDOLPH	No Manufacturer	UNIDAD	1	15/06/2016	\$96.900	\$96.900	\$15.504,00
3	BDLNI	SP QUICK REF.527-11100-00 MARCA HADOLH	No Manufacturer	UNIDAD	1	15/06/2016	\$1.732.620	\$1.732.620	\$277.219,20

Observaciones:

* Fecha de entrega de productos sujeta a venta previa (ver fechas en cotización). Productos de importación no tienen cambio
 FORMA DE PAGO 50% PARA LA SOLICITUD Y 50% A LA ENTREGA, ENTREGA 45 A 60 DIAS POR IMPORTACION

Blamis Dotaciones Laboratorio S.A.S
 Nit. 800.154.351-3

SUBTOTAL	\$7.465.560
IVA	\$1.194.490
TOTAL	\$8.660.050

OFICINAS Y ALMACEN AL PUBLICO:
BOGOTA: CARRERA 47 No. 94 A - 06 - LA CASTELLANA
 PBX: 611 18 51 - TEL.: 636 05 93 - FAX: 636 05 94
 MEDELLIN - PBX: 2307982 - 4485720
 CALI - PBX: 3315328 - 3733314
 Website: www.blamis.com.co
 E-mail: blamis@blamis.com.co

NUESTRA EXPERIENCIA MARCA LA DIFERENCIA

Bogotá D.C., 23 de Octubre de 2015

Señores
CRISTIAN MIGUEL GUTIERREZ
E-mail: crisgu12@hotmail.com
Ciudad

COTIZACIÓN No. 2830-15KG

ASUNTO: COTIZACIÓN BOMBA PERISTALTICA.

Cordial Saludo:

KASSEL GROUP SAS., es una organización dedicada a la Comercialización y distribución de equipos de laboratorio y pesaje, servicio técnico para equipos de biotecnología, control de calidad, industriales, equipos de pesaje y laboratorios clínicos.

Estamos certificados bajo los lineamientos de la norma NTC ISO 9001 versión 2008, con el propósito de lograr la satisfacción de nuestros clientes y garantizar el control de nuestros procesos.



De acuerdo con su solicitud, presentamos a ustedes la siguiente oferta:

Bogotá - Carrera 27 B # 73 - 24 - PBX 6310171 - FAX 660 9645
www.kasselgroupsas.com - info@kasselgroupsas.com - ventas@kasselgroupsas.com

**ITEM. 1: BOMBA PERISTALTICA MARCA THOMSON MODELO BT 100-2J DE
(0.0002~380ml/min)**



Descripciones:

Cabezales de bomba aceptables para BT100-2J son YZ1515X, YZ2515X, YZII15, YZII25, DG-1 y la DG-2. La bomba proporciona velocidades de flujo 0,0002 a 380 ml / min. La velocidad se puede ajustar manualmente o automáticamente a través de control externo. Guarde los parámetros que se ejecutan automáticamente. Fácil de operar.

Características:












cabezales de bomba aplicables: YZ1515X, YZ2515X, YZII15, YZII25, DG-1, DG-2.
clave Prime para el llenado rápido y vaciado.
Ajuste la velocidad de forma manual o automáticamente a través de la interfaz analógica.
La función de memoria, el almacenamiento de los parámetros de funcionamiento de forma automática.
Teclado de membrana, fácil de operar.
El buen desempeño y bajo precio.
En condiciones normales de laboratorio.

Especificaciones:

Velocidad: 0.1 ~ 100 rpm, reversible
velocidad de precisión: 0,1 rpm
Control de velocidad: Teclado de membrana
Pantalla: 3 dígitos LED pantallas rpm actual
Interfaz de comunicación: RS485
El control externo: Inicio / parada, el control cw / ccw y control de velocidad (0 ~ 5V, 0 ~ 10V, 4 ~ 20mA y 0 ~ 10KHz)
Fuente de alimentación: AC90 ~ 260V, 50 / 60Hz
Consumo de energía: <30W

condición de funcionamiento: Temperatura 0 ~ 40 °C, humedad relativa <80%
Dimensiones: 232 × 142 × 149 mm
peso de unidad: 2.3kg
Clasificación IP: IP31

TUBO

Tubing Sizes	13 [#]	14 [#]	19 [#]	16 [#]	25 [#]	17 [#]	18 [#]	15 [#]	24 [#]	35 [#]	36 [#]	
Tubing cross sections (1:1)												
Wall thickness (mm)	1.6						2.4					
Inner diameter (mm)	0.8	1.6	2.4	3.1	4.8	6.4	7.9	4.8	6.4	7.9	9.6	
Maximum pressure (Mpa)	Continuous		0.17		0.14		0.10		0.07		0.17	
	Intermittent		0.27		0.24		0.14		0.10		0.27	

PARÁMETROS

MODELO	CABEZAL DE LA BOMBA	TUBO	CAUDAL	PESO
BT600-2J	YZ1515X, YZII15	13# 14# 19# 16#	0.07~380	3kg
		25# 17# 18#		
	YZ2515X	15#	1.7~150	3kg
	YZII25	15#	1.7~150	3kg

INVERSIÓN:

ÍTEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1	BOMBA PERISTÁLTICA MARCA THOMSON MODELO BT 100-2J	\$ 6.792.000	\$ 6.792.000
MAS IVA 16%				

NOTA:

✚ EL PRECIO INCLUYE UNA CABEZA Y UN TUBO.

CONDICIONES COMERCIALES

Tiempo de entrega:	30 – 45 días recibida orden de compra.
Validez de la oferta:	30 días.
Forma de pago:	Anticipado.
Garantía:	1 año por defectos de fabrica.

Cordialmente,



XIMENA PACHECO

Asesora comercial

ximena.pacheco@kasselgroupsas.com

www.kasselgroupsas.com

CEL. 3213339801

TEL: 631 01 71



NIT. 800.053.310-8
BOGOTA D.C, MAYO 03 DE 2016



COTIZACION No.

106237

SEÑOR
UNIVERSIDAD DE AMERICA
CRISTIAN MIGUEL GUTIERREZ CUERVO
crisgu12@hotmail.com



ITEM	REFERENCIA	DESCRIPCION	CANT.	V.UNIT.	V.TOTAL
1	325-50010-00	Hei-FLOW Value 01	1	5.565.800	5.565.800
2	527-11100-00	SP Quick	1	1.711.000	1.711.000
3	525-83000-00	Tygon (X METRO)	1	71.590	71.590
				SUBTOTAL	7.348.390
				IVA	1.175.742
				TOTAL	8.524.132

CONDICIONES COMERCIALES

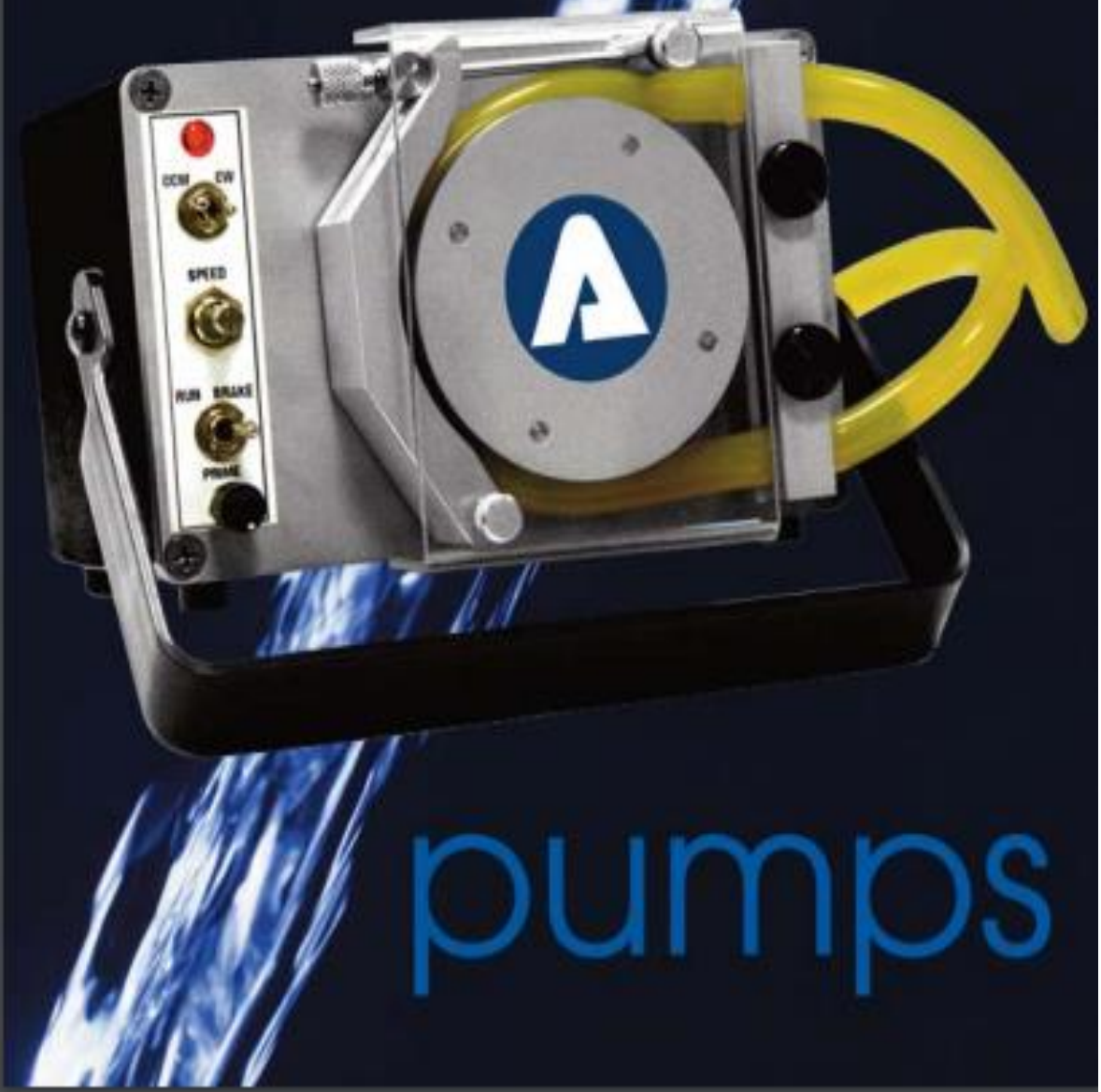
MAS IVA 16%
***** DE 60 A 120 DIAS HABILES DESPUES DE RECIBIR SU ORDEN DE PEDIDO SALVO VENTA PREVIA *****
PRECIOS NETO
 SI ALGUNO DE LOS PRODUCTOS AQUÍ COTIZADOS, SE AGOTA AL MOMENTO DE RECIBIR SU ORDEN DE PEDIDO NOS COMUNICAREMOS CON USTEDES PARA PACTAR UN NUEVO TIEMPO DE ENTREGA
FORMA DE PAGO: CONTADO
VIGENCIA OFERTA: 15 DIAS
NOTA: EN PEDIDOS INFERIORES A \$400.000 LOS FLETES Y SEGUROS CORRERAN POR CUENTA DEL COMPRADOR

OFICINA DE VENTAS
ASESOR COMERCIAL

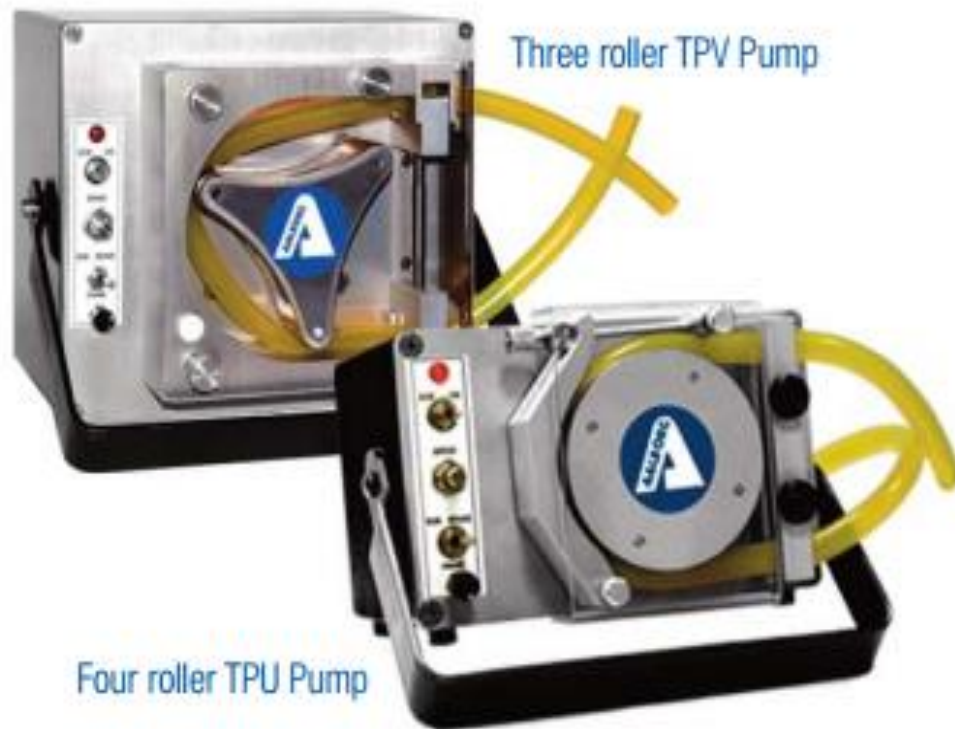
INGRID LOPEZ
ELABORO Y REVISO

QUEJAS Y RECLAMOS: dir.comercial@artilab.com.co
 CRA 57 A # 5B -53, PBX 2612013, FAX 4137848
 EMAIL: artilab@artilab.com.co

AALBORG



GENERAL DESCRIPTION / PRINCIPLES OF OPERATION



General Description

Aalborg's TPU and TPV model peristaltic pumps are designed for safety and long life. They are economical, easy to load, sturdy, and compact for a small footprint. Designed for use with liquids of widely diverse viscosity, they are suitable for laboratory, processing and OEM applications, even fuel with the appropriate tubing.

Principles of Operation

Flexible tubing, which conveys fluid from source to destination, is squeezed inside the pump head by rotating rollers against a rigid, crescent-shaped occlusion wall. The rollers induce suction in a pulsing rhythm. The occlusion is adjustable on TPU models for increased pressure, or decreased pressure to extend tubing life.

Each pump is comprised of a front panel with controls, a pump head, a motor, a rigid case with four rubber feet and a handle. The handle is practical both to carry the pump and, when rotated beneath the pump, to serve as a base that lifts and angles the pump face, making the controls even more easily accessible to the user.



TPU SPECIFICATIONS

	TPU FX FIXED RPM	TPU AD ADJUSTABLE RPM	TPU DP OR RP ADJUSTABLE RPM DISPENSING	TPU1 PUMP HEAD	TPU2 PUMP HEAD
ROLLERS	4 standard, 10 optional.			4	10
PUMPING SPEEDS	Preset to 3, 10, 20, 30, 40 or 50 RPM.	0 – 60 RPM.		Speeds depend on the motor you add to the pump head.	
MOTOR	AC Shaded Pole.	Brushless DC.		Motor (including mounting kit) available for separate purchase; factory mounting optional.	
POWER SUPPLY*	Power cord & plug.			NA	
ELECTRICAL REQUIREMENT	110 – 250 V.			NA	
DIMENSIONS	7.30 in. WIDE x 6.40 in. DEEP x 4.37 in. HIGH (18.5 cm W x 16.3 cm D x 11 cm H) excluding handle.			7.30 in. W x 4.37 in. H (18.5 cm W x 11 cm H).	
MAXIMUM LIFT, PUMP HEAD	340 in. H ₂ O (12.3 psig).				
MAXIMUM SUCTION, HEAD	350 in. H ₂ O (12.6 psig).				
RECOMMENDED TUBING MATERIALS 1/16 IN. (3.17 MM) WALL	Tygon® R-3603, peroxide-treated silicone, platinum-treated silicone, PharMed® Versilic® silicone, Tygon® Sanitary silicone, Norprene® Tygon® Long Flex Lite, and Hypalon®.				
TUBING SIZES (INSIDE Ø)	1/8 in., 3/16 in., 1/4 in. or 5/16 in. (3.17 mm, 4.76 mm, 6.35 mm or 7.94 mm).				
FUSES	Two 2-Amp, 250 V, fast-acting, glass, 5 x 20 mm, UL-listed.			NA	
REVERSIBLE FLOW	No	Yes	Yes	No	
PRIMING FUNCTION	No	Yes	Yes	No	
TIMING FUNCTION	No	No	Yes	No	

*Specific power cords & plugs are available for North America, Europe, UK and Australia. The selection of tubing materials is the responsibility of the customer; the company accepts no liability.

TPU ** MATERIALS OF CONSTRUCTION

ANODIZED ALUMINUM

316 STAINLESS STEEL PRECISION ROLLERS AND SHAFTS

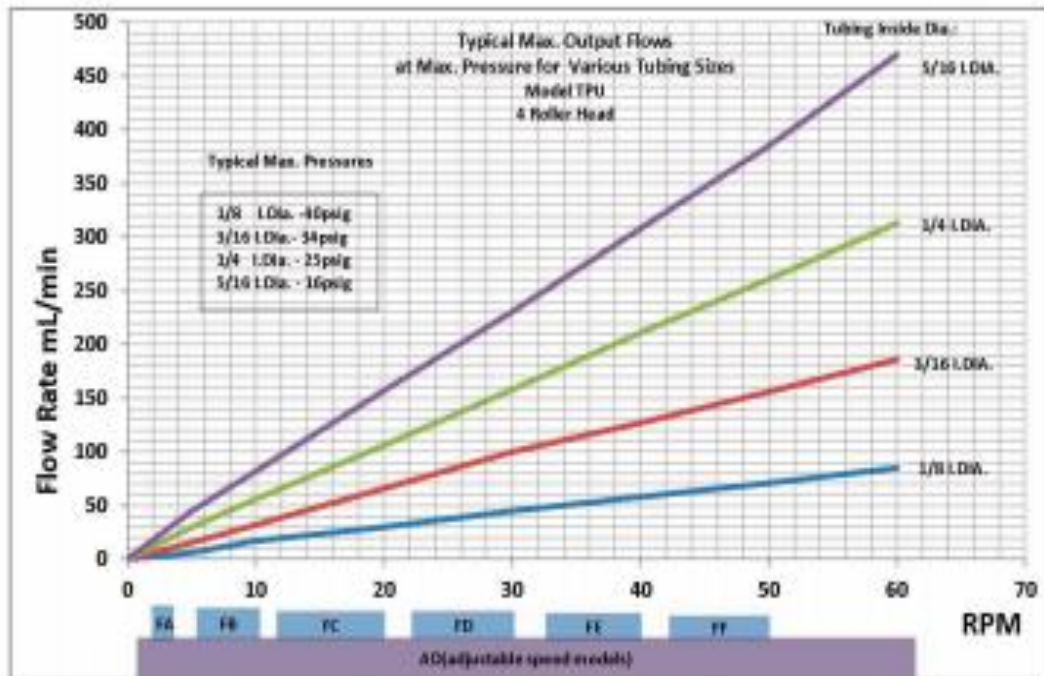
Flow Rate Graphs

To select the pump that best corresponds to your needs using the Flow Rate graphs:

1. Locate the desired flow rate where it intersects with the tubing diameter plot lines.
2. Project the intersections to the RPM axis at the bottom of the graph.
3. If your chosen flow rate falls between the fixed RPM choices (the blue boxes labeled FA, FB, etc.), pick the next larger speed or order an adjustable RPM pump, represented by the purple AD (adjustable speed models) box.

Armed with this information, consult the features sections that follow, then use the tables on page 10 to identify the ordering number for the pump(s) you have selected.

4-Roller Pumps:

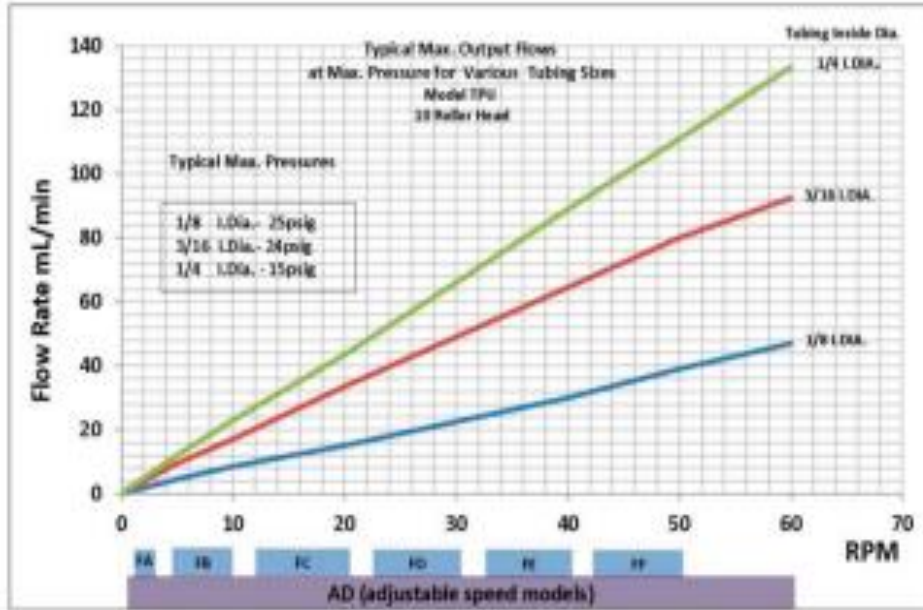


The Flow Rate graph for 10-roller pumps is on the following page.



10-Roller Pumps:

Note that 5/16-inch I.D. tubing is not recommended for use with the 10-roller pumps.



Formula for liquids other than water.

FX Model Fixed RPM Tubing Pumps



Design Features

- ◆ Economical.
- ◆ Adjustable Occlusion Wall.
- ◆ Stainless Steel Rollers and Shafts.
- ◆ Compact design for small foot print.
- ◆ Can Be Mounted In Any Direction.
- ◆ Long Tubing Life.
- ◆ 4 Rollers, 10 optional to minimize pulsing.
- ◆ Adjustable handle to carry, stand or hang.
- ◆ Safety cover.
- ◆ Wide choice of preset speeds.

Peristaltic Pumps
designed for liquids
of low to high viscosity:

Ideal for laboratory,
processing and
OEM applications.

AD Model Adjustable RPM Tubing Pumps with Prime



Peristaltic Pumps
designed for liquids
of low to high viscosity:

Ideal for laboratory,
processing and
OEM applications.

Design Features

- ◆ Economical & compact.
- ◆ Adjustable Occlusion Wall.
- ◆ Stainless Steel Rollers & Shafts
- ◆ Controls for Prime, Brake, RPM, Reverse flow direction, Power LED.
- ◆ Maintenance-free brushless motor.
- ◆ Safety cover.
- ◆ Can be mounted in any direction.
- ◆ Long tubing life.
- ◆ 4 Rollers, 10 optional to minimize pulsing.
- ◆ Adjustable handle to carry, hang or stand.
- ◆ Speed adjustable from 0 to 60 RPM.

DP & RP Model Adjustable RPM Dispenser Pumps



Peristaltic Pumps
designed for liquids
of low to high viscosity:

Ideal for laboratory,
processing and
OEM applications.

Design Features

- ◆ Economical & compact.
- ◆ Adjustable Occlusion Wall, long tubing life.
- ◆ Stainless Steel Rollers & Shafts.
- ◆ Programmable timer.
- ◆ Controls for Prime, Brake, RPM, Reverse flow direction, Power LED.
- ◆ Maintenance-free 12 VDC brushless motor.
- ◆ Can be mounted in any direction.
- ◆ 4 Rollers, 10 optional to minimize pulsing.
- ◆ Adjustable handle to carry, hang or stand.
- ◆ Safety cover.
- ◆ Speed adjustable from 0 to 60 RPM.

Pump Head

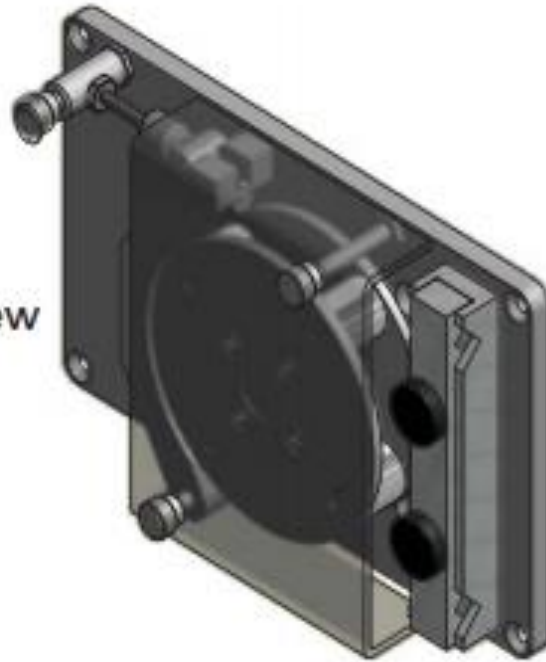


The simplicity of the pump head design provides users with the flexibility to connect their own motor or to purchase one from our catalog.

Design Features

- ◆ Economical & compact.
- ◆ Adjustable Occlusion Wall for long tubing life.
- ◆ Stainless Steel Rollers & Shafts.
- ◆ Safety cover.
- ◆ Can be mounted in any direction.
- ◆ 4 Rollers or 10 Rollers to minimize pulsing.
- ◆ Maximum Lift: 340 in. H₂O (12.3 psig).
- ◆ Maximum Suction: 350 in. H₂O (12.6 psig).

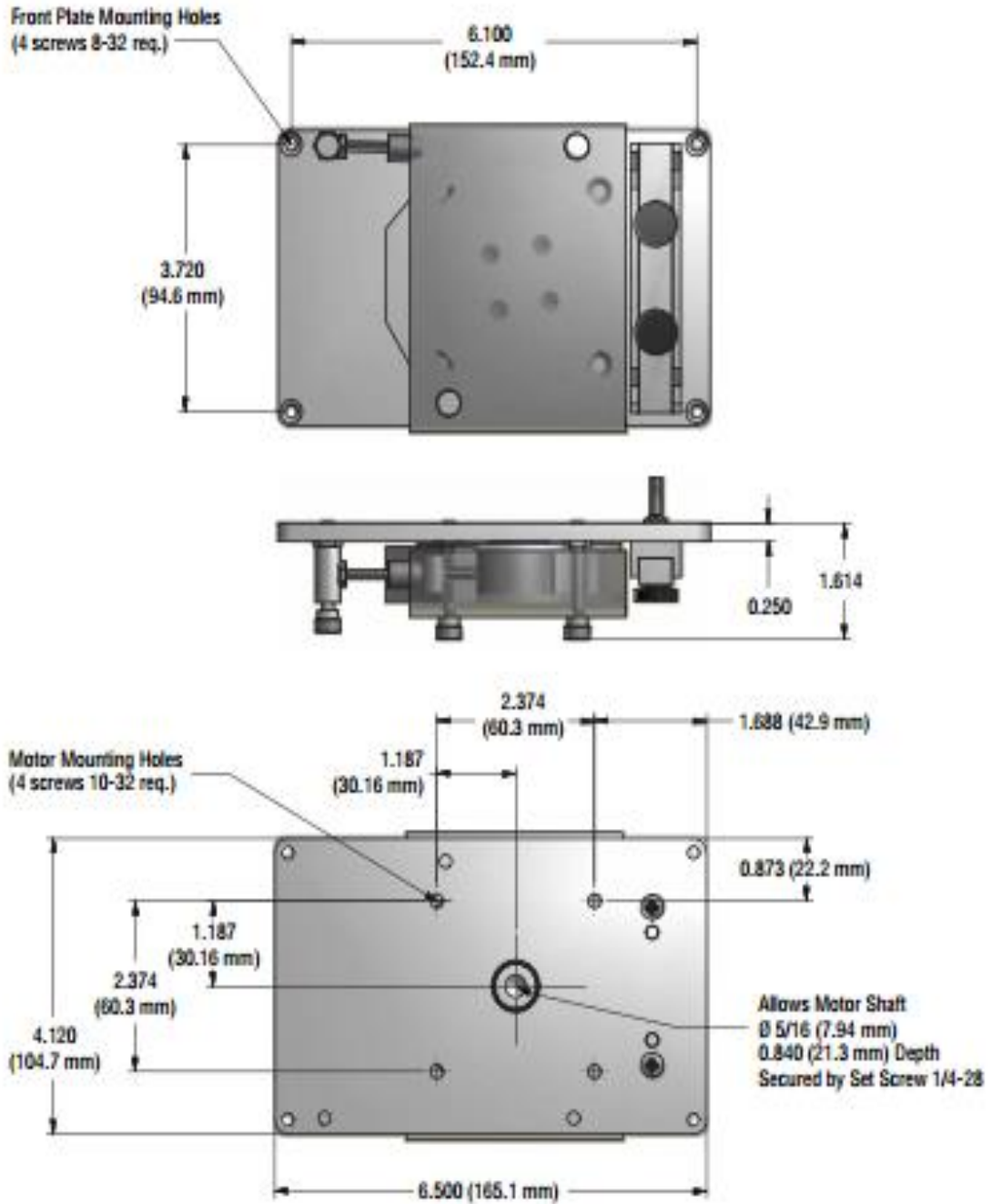
Front View



Rear View



TPU PUMP HEAD DIMENSIONS





Hanna Instruments S.A.S.
NIT: 900352772-2
email:ventas@hannacolombia.com

COTIZACION N° 57027

Fecha : 12/05/2016 - Vigencia : 27/05/2016

Señores: DIANA GUZMAN

Atención: Srta. DIANA GUZMAN

Fono: 3057231052

Fax:

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, tenemos el agrado de enviar a usted cotización de acuerdo al siguiente detalle:

N°	Código	Descripción	Unid.	Cantidad	Precio	Total
1	HI 98100	Checker® Plus pH Tester <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$185.990	\$185.990
2	HI 9811-5	Medidor combinado pH/EC/TDS (6000uS,3000mg/L) <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$774.990	\$774.990
3	HI 7004L/C	Solución de pH 4,01, 460 mL. c/certificado <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$40.990	\$40.990
4	HI 7007L/C	Solución pH 7,01, 460 mL. c/certificado <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$40.990	\$40.990
5	HI 70300L	Solución de almacenamiento electrodos 460mL <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$55.990	\$55.990
6	HI 7061L	Soluc. de limpieza de electrodos Bot. 460 mL <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$57.990	\$57.990
7	201.01	Despacho Bogotá	C/U	1	\$14.000	\$14.000

CONDICIONES COMERCIALES

Forma de Pago Contado

Lugar de Entrega En vuestra oficina

Validez Oferta 15 días, excepto para oferta de promociones especiales, en cuyo caso la validez estará determinada por el periodo de duración de la promoción

Neto \$1.170.940

IVA (16%) \$187.350

Total \$1.358.290

John Gutiérrez
HANNA Instruments
email: john@hannacolombia.com
cel: 7430243 ext. 133

Carrera 98 No 25G-10 Bodega 9 - Bogotá Colombia
Teléfonos: (57 1) 743-0243, (57 1) 415-4551
Fax: (57 1) 704-4087

OBSERVACIONES IMPORTANTES:

1-GARANTIA

Los equipos HANNA Instruments son garantizados por los siguientes periodos:

- Medidores de Sobremesa: 2 años de garantía
- Electrodo/sondas: 6 meses de garantía
- Tester de bolsillo: 6 meses de garantía
- Checker Series HC: 6 meses de garantía
- Medidores portátiles: (serie HI96XXX, serie HI91XX; HI 93XX; HI 95XXX): 1 año de garantía
- Medidores multiparamétricos portátiles (serie HI9828, serie HI9829):
 - * Medidor: 2 años de garantía
 - * Sonda: 1 año de garantía
 - * Sensor: 6 meses de garantía
- Controlador de Cloro de Procesos PCA:
 - * Medidor: 1 año de garantía
 - * Electrodo: 6 meses de garantía
 - * Foto celda/electroválvula: 6 meses de garantía
- Mini tituladores:
 - * Medidor: 2 años de garantía
 - * Electrodo: 6 meses de garantía
- Tituladores HI 901, HI 902, HI 903 y HI 904:
 - * Unidad Base: 2 años de garantía
 - * Bomba: 1 año de garantía
 - * Bureta: 6 meses de garantía
 - * Electrodo: 6 meses de garantía
- Datalogger de Temperatura:
 - * HI 141/HI 140: 1 año de garantía.
 - * HI 143: 6 meses de garantía
- Electrodo y sondas PH/ORP/T[°]/OD/CE y otros: 6 meses de garantía.
- Controladores de Proceso: HI 504XX/ HI 710XX /HI 720 /mv 600 y otros: 1 año de garantía.
- Mini controladores: 1 año de garantía.
- Bombas Dosificadoras: 6 meses de garantía
- Agitadores Magnéticos: 1 año de garantía.
- Accesorios en General: 3 meses de garantía

Nota: La garantía de equipos no cubre manipulación interna del equipo, corto interno de sondas por manipulación, accidentes como (golpes, cortos eléctricos, fracturas, inmersiones, filtraciones de líquidos, exposición a ambientes no aptos) todos aquellos que no estén estipulados en la ficha técnica del equipo o que no se encuentren dentro del manual técnico del usuario. El retiro del sello de control de calidad inviolable adherido al equipo dejará nula la garantía del equipo.

2-Por favor indicar el número de cotización y dirección de despacho, de cursar la orden de compra..

3- Si el producto está en Stock, el despacho se realizará dentro de las próximas 36 horas. La disponibilidad de stock a pedido de cliente tendrá una fecha estimada de llegada de cinco (5) a seis (6) semanas contra orden de compra aprobada.

4- El despacho tiene un costo proporcional al peso, y al lugar de destino, infórmese con su ejecutivo Hanna. Si dispone de su propio



Hanna Instruments S.A.S.
NIT: 900352772-2
email:ventas@hannacolombia.com

transporte, debe informarlo en la orden de compra o a su ejecutivo de ventas e instruir personalmente a su transportista para el retiro de los productos en nuestras oficinas. Consulte por las empresas con convenio.

5- Recuerde que puede realizar sus pagos en la Cuenta Corriente del BANCO CORPBANCA No. 037-55145-4 enviando copia del depósito realizado al Fax No. +57-1 7044087 ó al correo electrónico pagos@hannacolombia.com . Si su pago es realizado a través de CHEQUE este debe ser emitido CRUZADO a nombre de HANNA INSTRUMENTS S.A.S.

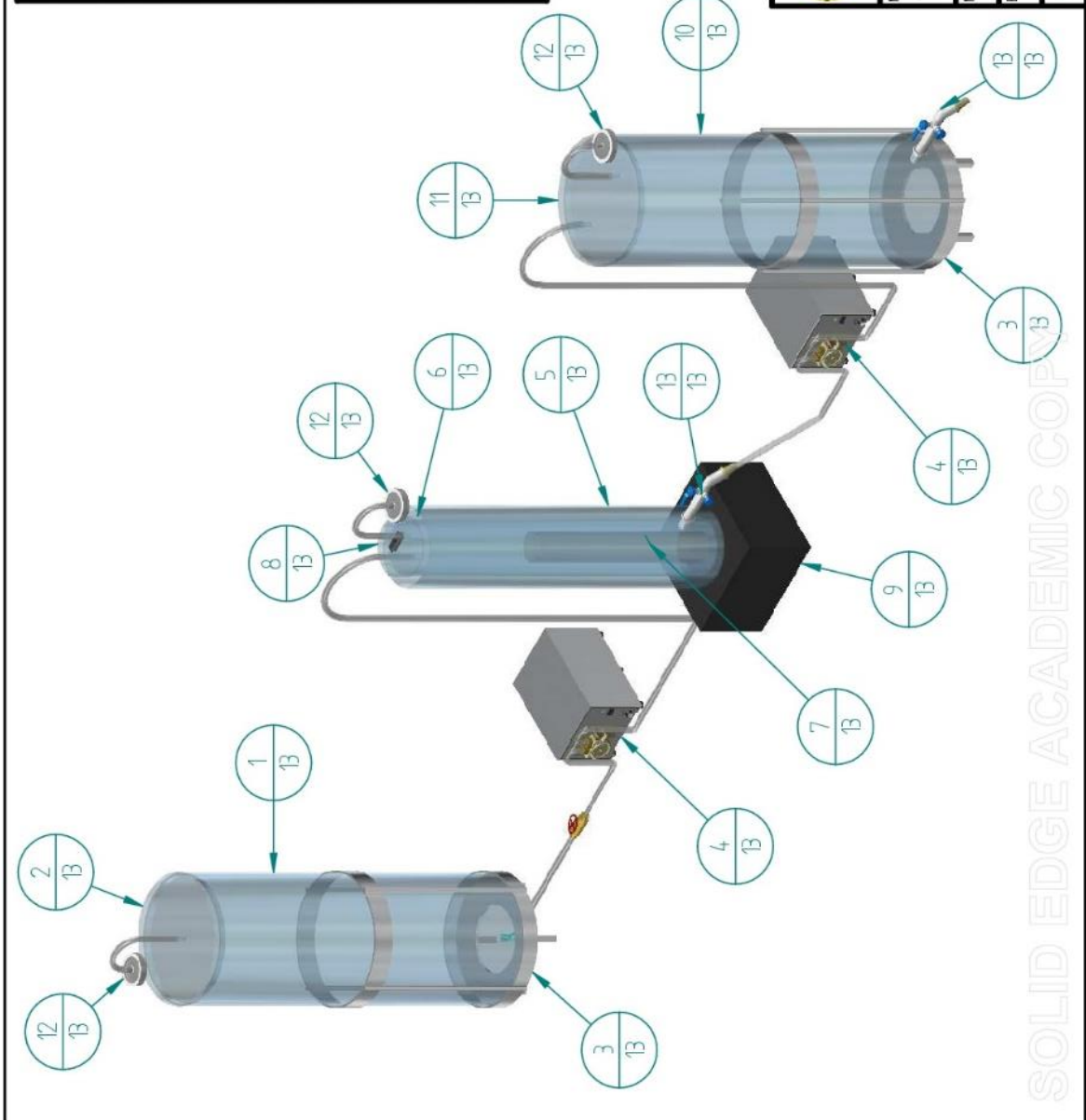
HI 98103	PHMETRO DE BOLSILLO. PRECISION +/- 0.2, COMPENSACIÓN MANUAL DE TEMPERATURA (CHECKER1). INCLUYE BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO CLORURO 3M	HANNA	248,000
HI 98128	PHMETRO DE BOLSILLO. PRECISION +/- 0.01, COMPENSACION AUTOMATICA DE TEMPERATURA. (pHep5). INCLUYE BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO CLORURO 3M.	HANNA	627,000
350271	PHMETRO PORTATIL. pH, °C CON ELECTRODO PLASTICO. pH (-2,00 - 16,00), (+/-0,01pH), °C(-10 +105°C), COMPENSACION MANUAL DE TEMPERATURA. INCLUYE BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO CLORURO 3M	JENWAY (UK)	1,333,000
350271-V	PHMETRO PORTATIL. pH, °C CON ELECTRODO EN VIDRIO. pH (-2,00 - 16,00), (+/-0,01pH), °C(-10 +105°C), COMPENSACION MANUAL DE TEMPERATURA. INCLUYE BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO CLORURO 3M	JENWAY (UK)	1,373,000
370271	PHMETRO PORTATIL. pH/mV, °C CON ELECTRODO PLASTICO, RESOLUCION 0.01 pH, mV (+/- 1999,9), °C(-10,0-105°C), COMPENSACION AUTOMATICA DE TEMPERATURA, CON ALMACENAMIENTO DE DATOS. INCLUYE BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO CLORURO 3 M	JENWAY (UK)	1,736,000
370271-V	PHMETRO PORTATIL. pH/mV, °C CON ELECTRODO DE VIDRIO, RESOLUCION 0.01 pH, mV (+/- 1999,9), °C(-10,0-105°C), COMPENSACION AUTOMATICA DE TEMPERATURA, CON ALMACENAMIENTO DE DATOS. INCLUYE BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO CLORURO 3 M	JENWAY (UK)	1,776,000
351001-P	PHMETRO DE MESA. pH/mV, °C, CON ELECTRODO PLASTICO RESOLUCION 0.01 pH, mV (+/- 1999,9), °C(-10,0-105°C), COMPENSACION AUTOMATICA DE TEMPERATURA, ALMACENAMIENTO DE DATOS. INCLUYE SOPORTE PARA ELECTRODO, BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO	JENWAY (UK)	3,336,000
351001	PHMETRO DE MESA. pH/mV, °C, CON ELECTRODO DE VIDRIO RESOLUCION 0.01 pH, mV (+/- 1999,9), °C(-10,0-105°C), COMPENSACION AUTOMATICA DE TEMPERATURA, ALMACENAMIENTO DE DATOS. INCLUYE SOPORTE PARA ELECTRODO, BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO	JENWAY (UK)	3,376,000
352001-P	PHMETRO DE MESA. pH/mV, °C, CON ELECTRODO PLASTICO, RESOLUCION 0.01 pH, MV (+/- 1999,9), °C(-10,0-105°C), COMPENSACION AUTOMATICA DE TEMPERATURA, CON ALARMA. INCLUYE SOPORTE PARA ELECTRODO, BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO CLORURO 3M	JENWAY (UK)	5,041,000
352001	PHMETRO DE MESA. pH/mV, °C, CON ELECTRODO DE VIDRIO, RESOLUCION 0.01 pH, MV (+/- 1999,9), °C(-10,0-105°C), COMPENSACION AUTOMATICA DE TEMPERATURA, CON ALARMA. INCLUYE SOPORTE PARA ELECTRODO, BUFFER PH 4 Y 7 Y POTASIO CLORURO 3M	JENWAY (UK)	5,081,000
HI 98129	PHMETRO-CONDUCTIVIMETRO 0-3999 uS/cm, MEDIDOR DE SOLIDOS 0-2000 ppm Y TEMPERATURA. (COMBO). INCLUYE BUFFER PH 4 Y 7, POTASIO CLORURO 3 M Y PATRON DE CONDUCTIVIDAD.	HANNA	990,000
HI 98130	PHMETRO-CONDUCTIVIMETRO 0.00 - 20.00 mS/cm, MEDIDOR DE SOLIDOS 0.00 - 10.00 ppt Y TEMPERATURA. (COMBO). INCLUYE BUFFER PH 4 Y 7, POTASIO CLORURO 3M Y PATRON DE CONDUCTIVIDAD.	HANNA	1,159,000
430271	PHMETRO-CONDUCTIVIMETRO PORTATIL. 0 - 14 pH, 0 - 200 mS/cm, MEDIDOR DE SOLIDOS 0 - 1999,9 ppm Y TEMPERATURA. INCLUYE BUFFER PH 4, 7, POTASIO CLORURO 3M Y PATRON DE CONDUCTIVIDAD.	JENWAY (UK)	4,314,000

ANEXO H PLANOS DEL SISTEMA

Los 14 planos se encuentran de la siguiente manera.

- Planos generales: Contiene el plano completo del sistema continuo para el fotobiorreactor Air-lift a escala laboratorio uno en vista 3D y otro en 2D.
- Planos del tanque de almacenamiento del medio de cultivo: Contiene un plano de toda la estructura y planos específicos del soporte, tapa y cuerpo del tanque.
- Planos del tanque de almacenamiento de la biomasa: Contiene un plano de toda la estructura y planos específicos del soporte, tapa y cuerpo del tanque.
- Planos del fotobiorreactor: Tiene un plano de toda la estructura del fotobiorreactor con la llave bilateral y planos específicos de la tapa y cuerpo del fotobiorreactor.

ITEM	NOMBRE	CANTIDAD
13	Valvula Llave	2
12	Microfiltro	3
11	Tapa Tanque 2	1
10	Tanque 2	1
9	Soporte FBR	1
8	Tapa FBR	1
7	Cilindro Pequeño FBR	1
6	Cilindro Mediano FBR	1
5	Cilindro Grande FBR	1
4	Bomba peristáltica	2
3	Soporte	2
2	Tapa Tanque 1	1
1	Tanque 1	1





UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA

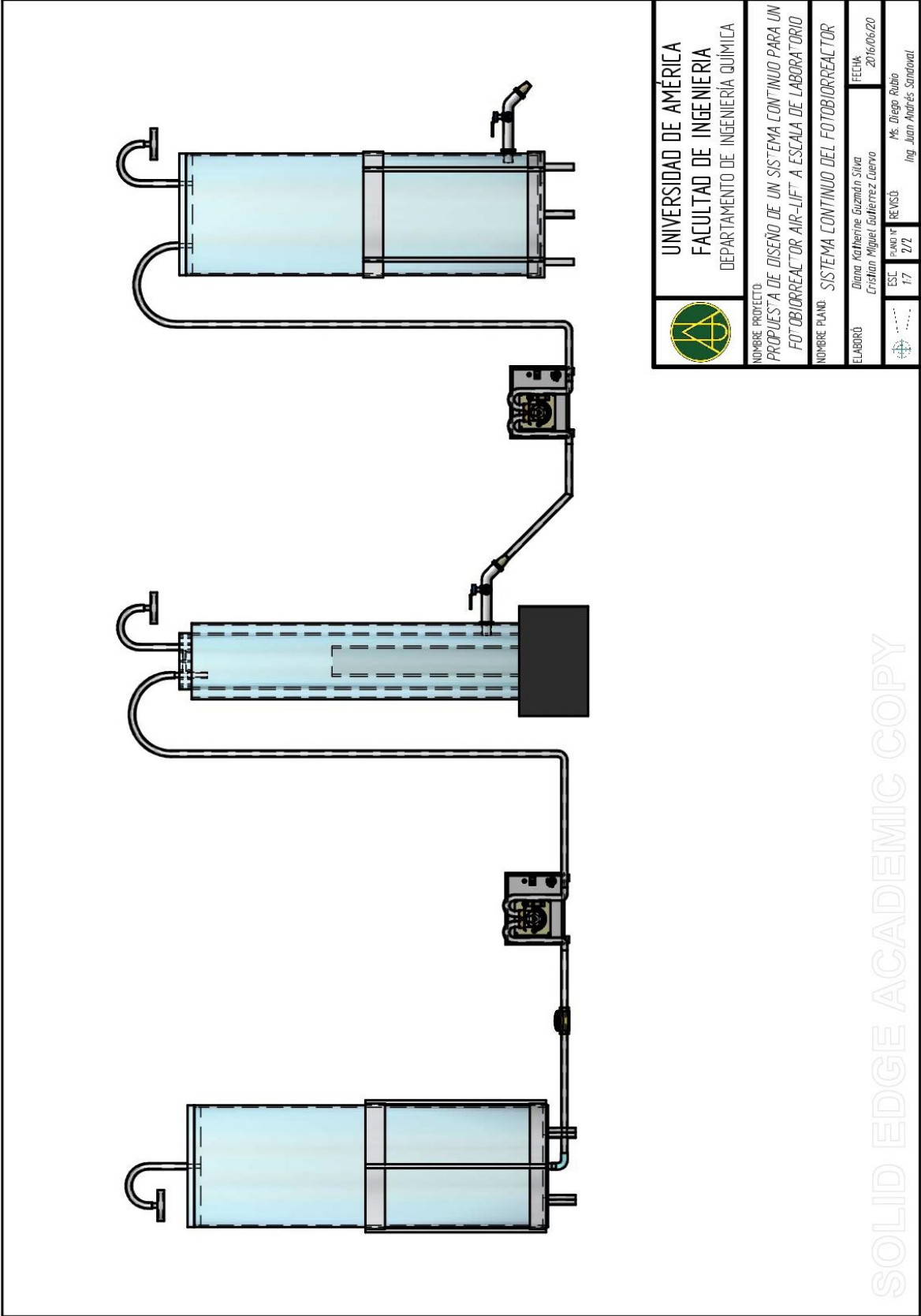
NOMBRE PROYECTO:
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA UN FOTOBIOREACTOR AIR-LIFT A ESCALA DE LABORATORIO


NOMBRE PLANO: SISTEMA CONTINUO DEL FOTOBIOREACTOR

ELABORÓ: Diana Katherine Guzmán Silva
Cristian Miguel Gutierrez Cuervo

FECHA: 2016/05/16

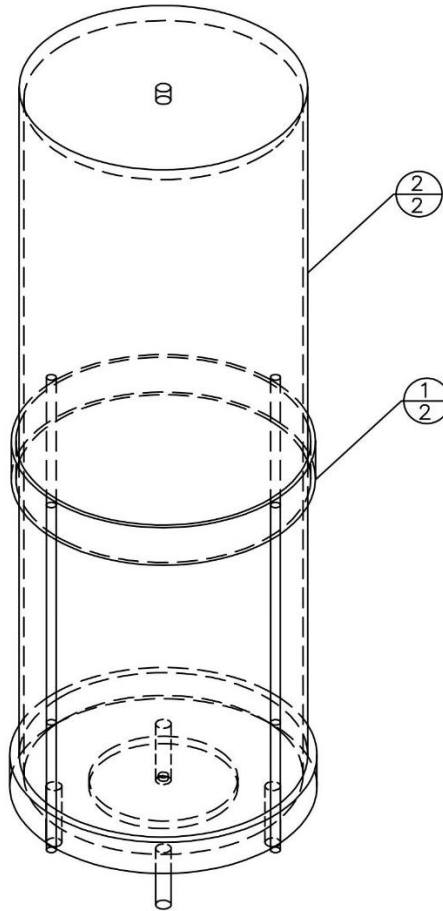
ESL: 16
PLANO N°: 1/2
REVISÓ: Ms. Diego Rubio
Ing. Juan Andrés Sanabral



	UNIVERSIDAD DE AMÉRICA FACULTAD DE INGENIERIA DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA	
	NOMBRE PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA UN FOTOREACTOR AIR-LIFT A ESCALA DE LABORATORIO	
NOMBRE PLANO: SISTEMA CONTINUO DEL FOTOREACTOR		FECHA: 2016/06/20
ELABORÓ: Diana Katherine Guzmán Silva	REVISÓ: Ms. Diego Rubio	
ESCALA: 1:1	PÁGINA: 17	FECHA: 2/2
Ing. Juan Andrés Sandoval		

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

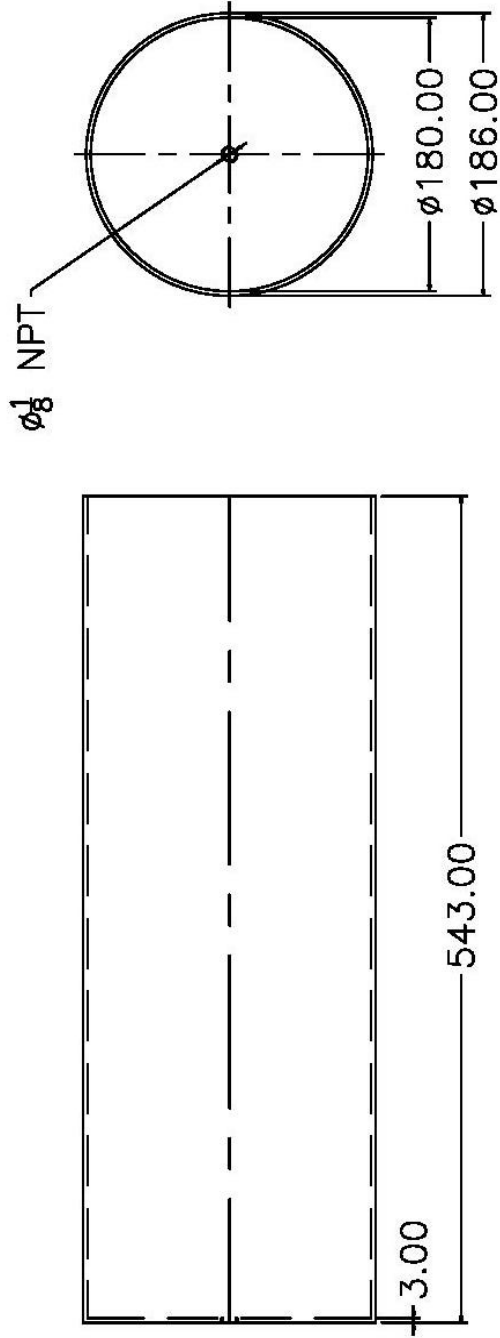
CONJUNTO DE ALMACENAMIENTO 1




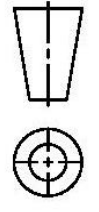
ITEM	NOMBRE	CANTIDAD
2	TANQUE DE ALMACENAMIENTO 1	1
1	SOPORTE TANQUE DE ALMACENAMIENTO 1	1

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA		
FACULTAD DE INGENIERÍAS	INGENIERÍA QUÍMICA	
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTORREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO		
FACULTAD DE INGENIERÍAS		MATERIAL: ACRILICO
NOMBRES:	CODIGOS:	CANTIDAD: 1
CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO	6111686	ESCALA: 1:4
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA	6111575	PLANO N°: 1/4
		

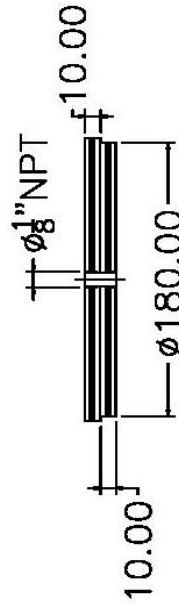
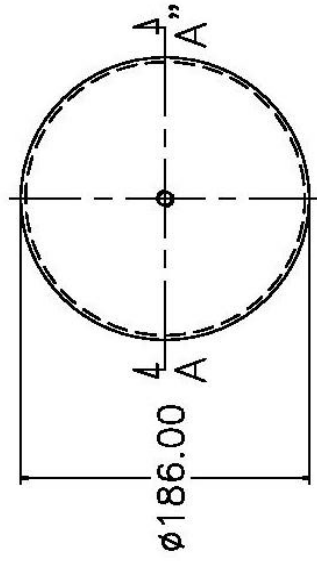
TANQUE 1






	
FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA	
FACULTAD DE INGENIERIAS INGENIERIA QUIMICA	
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTORREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO	
FACULTAD DE INGENIERIAS	
NOMBRES:	MATERIAL: ACRILICO
CRISTIAN MIGUEL GUTIERREZ CUERVO	CANTIDAD: 1
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA	ESCALA: 1:4
	PLANO N°: 2/4



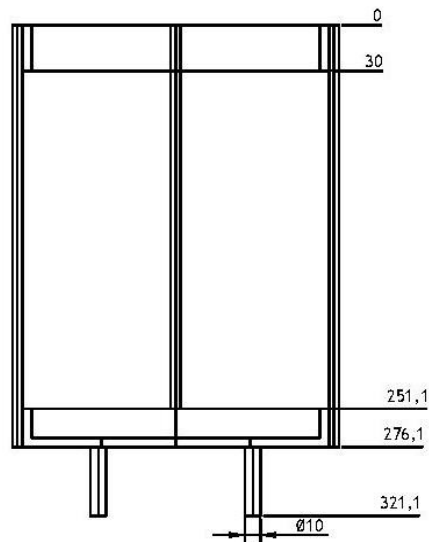
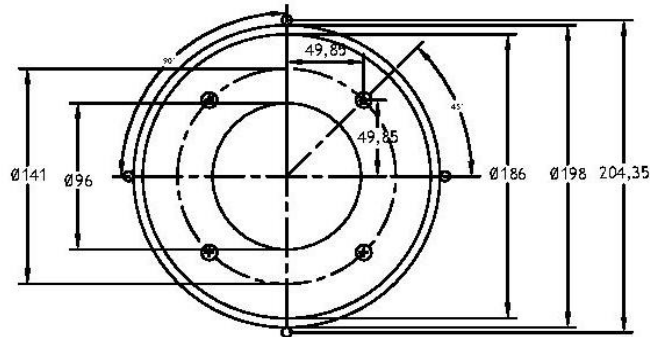
TAPA TANQUE 1



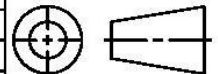
CORTE A-A"

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA			
FACULTAD DE INGENIERÍAS INGENIERÍA QUÍMICA			
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTOREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO			
FACULTAD DE INGENIERÍAS		MATERIAL: POLIPROPILENO	
NOMBRES:		CANTIDAD: 1 DE C/U	
CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO		ESCALA: 1:4	
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA		PLANO N°: 3/4	

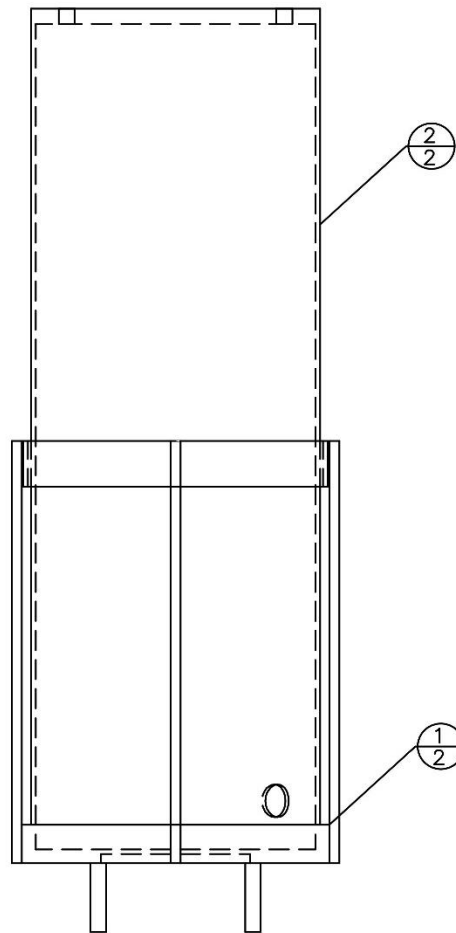
SOPORTE DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO 1



FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA		
FACULTAD DE INGENIERÍAS	INGENIERÍA QUÍMICA	
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTORREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO		
FACULTAD DE INGENIERÍAS		MATERIAL: ACRILICO
NOMBRES:	CODIGOS:	CANTIDAD: 2
CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO	6111686	ESCALA: 1:4
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA	6111575	PLANO N°: 4/4



CONJUNTO DE ALMACENAMIENTO 2



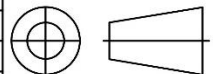
ITEM	NOMBRE	CANTIDAD
2	TANQUE DE ALMACENAMIENTO 2	1
1	SOPORTE TANQUE DE ALMACENAMIENTO 2	1

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS | INGENIERIA QUÍMICA

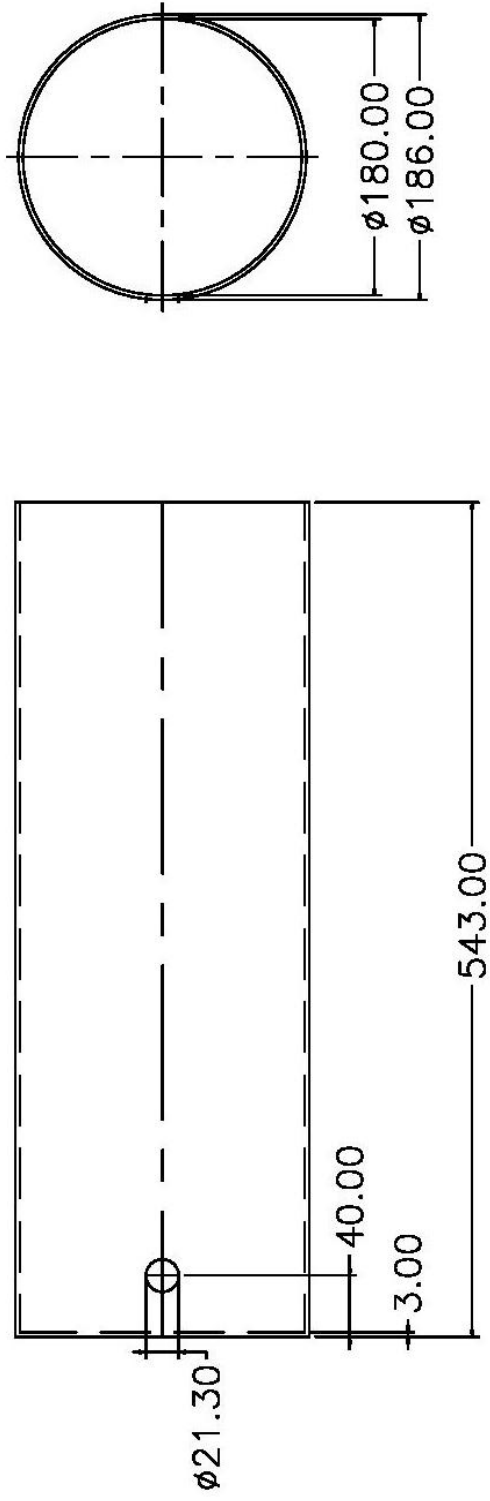


PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTORREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO

FACULTAD DE INGENIERÍAS		MATERIAL: ACRILICO
NOMBRES:	CODIGOS:	CANTIDAD: 1
CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO	6111686	ESCALA: 1:4
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA	6111575	PLANO N°: 1/4



TANQUE 2



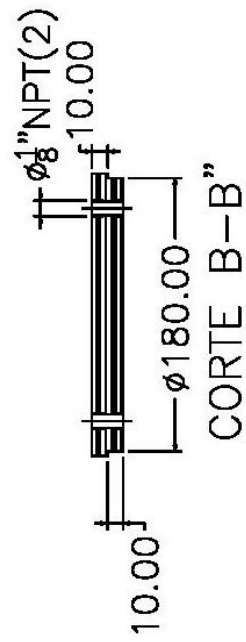
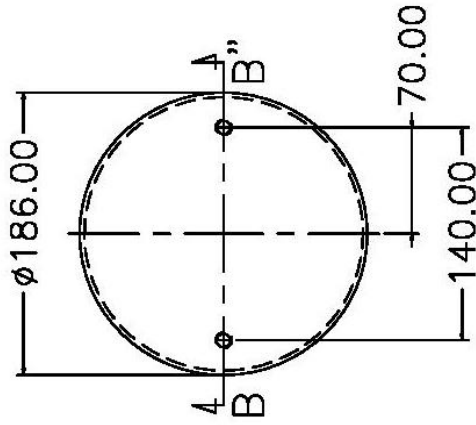
FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
 FACULTAD DE INGENIERIAS | INGENIERIA QUÍMICA



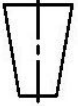
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTORREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO

FACULTAD DE INGENIERIAS		MATERIAL: ACRILICO
NOMBRES:	CODIGOS:	CANTIDAD: 1
CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO	6111686	ESCALA: 1:4
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA	6111575	PLANO N°: 2/4

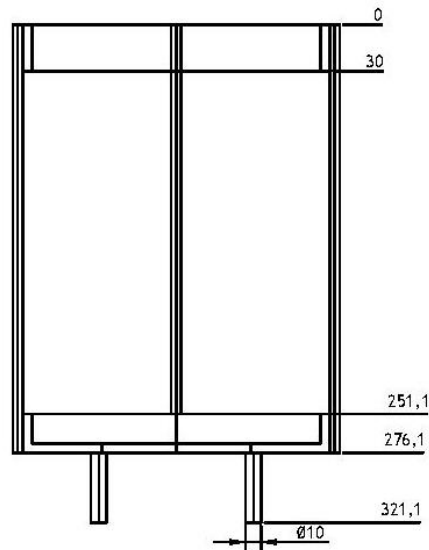
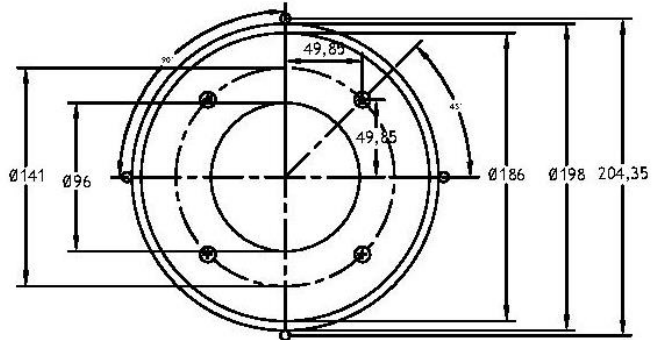


TAPA TANQUE 2

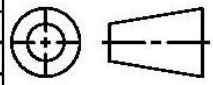


	
FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	
FACULTAD DE INGENIERÍAS INGENIERIA QUÍMICA	
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTORREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO	
FACULTAD DE INGENIERÍAS	
NOMBRES:	MATERIAL: POLIPROPILENO
CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO	CANTIDAD: 1 DE C/U
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA	ESCALA: 1:4
	PLANO N°: 3/4
 	

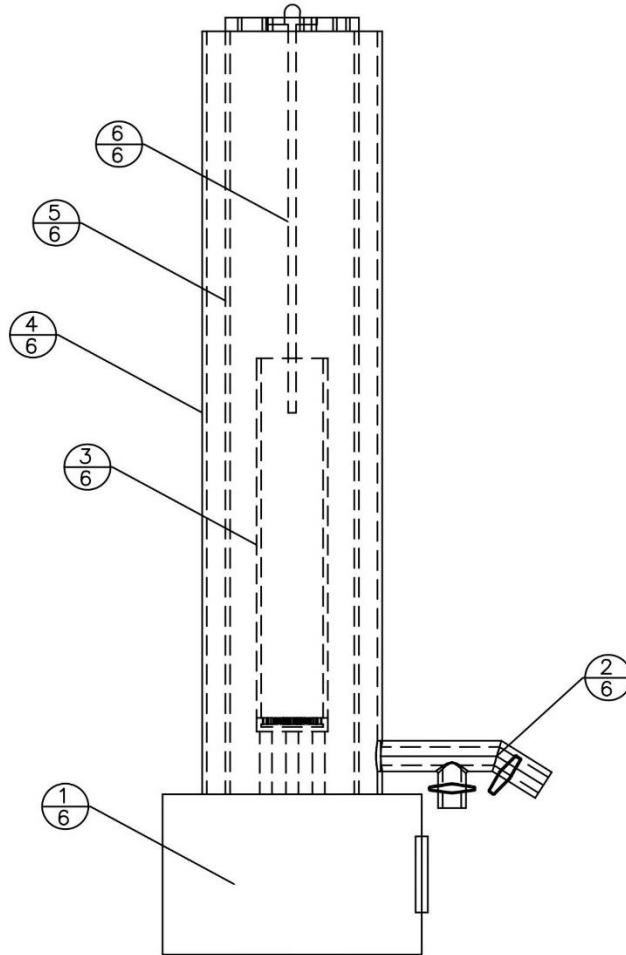
SOPORTE DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO 2



FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA		
FACULTAD DE INGENIERÍAS INGENIERÍA QUÍMICA		
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTORREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO		
FACULTAD DE INGENIERÍAS		MATERIAL: ACRILICO
NOMBRES:	CODIGOS:	CANTIDAD: 2
CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO	6111686	ESCALA: 1:4
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA	6111575	PLANO N°: 4/4



FOTOBIORREACTOR



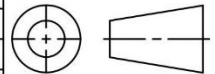
ITEM	NOMBRE	CANTIDAD
6	SONDA DE pH	1
5	DOWNCOMER	1
4	SISTEMA DE ILUMINACION	1
3	RISER	1
2	LLAVE DE CIERRE BILATERAL	1
1	BASE DEL FOTOBIORREACTOR	1

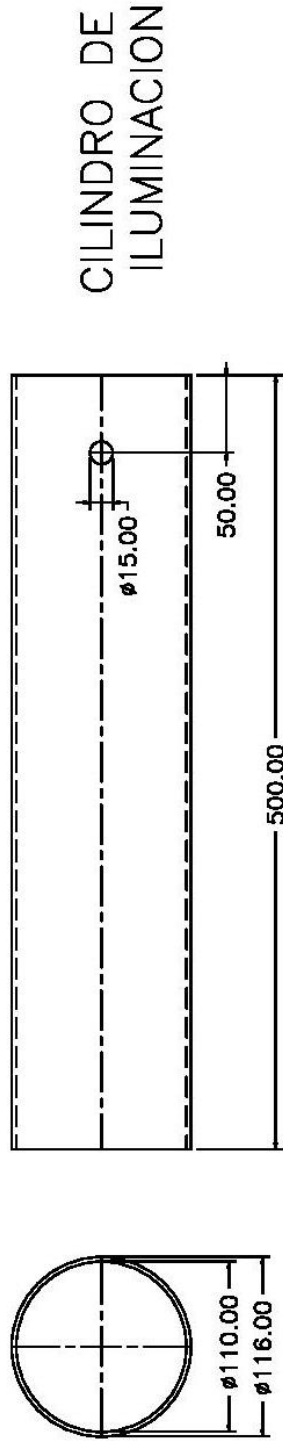
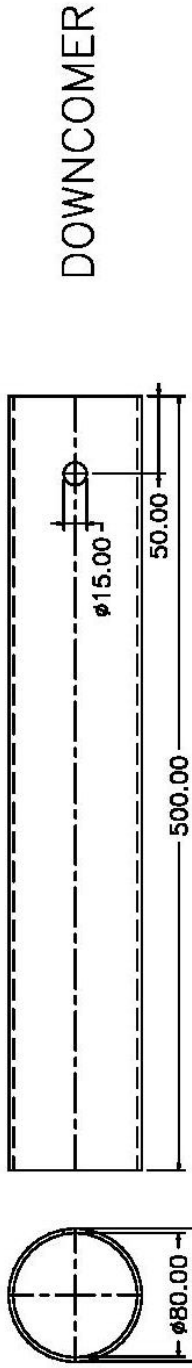
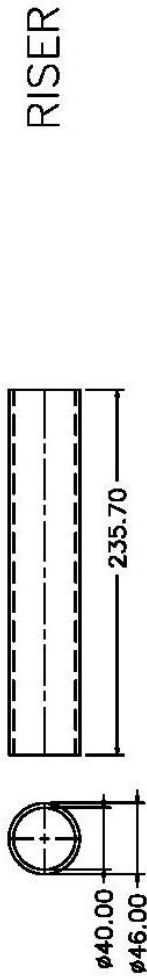
FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
 FACULTAD DE INGENIERÍAS | INGENIERIA QUÍMICA


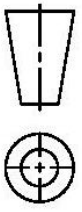


PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTORREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO

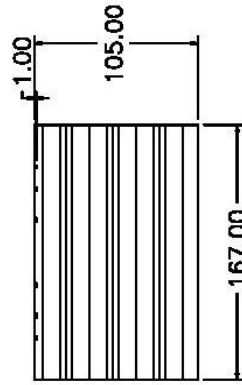
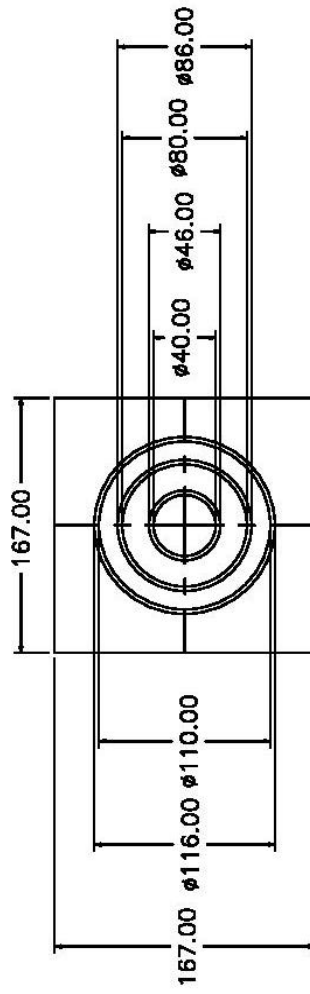
FACULTAD DE INGENIERÍAS		MATERIAL: ACRILICO
NOMBRES:	CODIGOS:	CANTIDAD: 2
CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO	6111686	ESCALA: 1:4
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA	6111575	PLANO N°: 1/4





	
FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA	
FACULTAD DE INGENIERIAS INGENIERIA QUIMICA	
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTOREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO	
FACULTAD DE INGENIERIAS	
NOMBRES:	MATERIAL: ACRILICO
CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO	CANTIDAD: 1 DE C/U
DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA	ESCALA: 1:4
CODIGOS:	PLANO N°: 2/4
6111686	
6111575	
	

BASE DEL FOTOBIORREACTOR



FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
 FACULTAD DE INGENIERIAS INGENIERIA QUÍMICA

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTINUO PARA FOTORREACTOR AIR-LIFT A ESCALA LABORATORIO

FACULTAD DE INGENIERIAS

MATERIAL: ACRILICO

NOMBRES:

CANTIDAD: 1 DE C/U

CRISTIAN MIGUEL GUTIÉRREZ CUERVO

ESCALA: 1:4

DIANA KATHERINE GUZMÁN SILVA

PLANO N°: 3/4

