

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Diseño y construcción de un sistema móvil de agitación para
cultivo intensivo de biomasa microalgas en sistema de tipo
Raceway Ponds

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

José Jacinto Burbano Gómez

Luis Fernando Tapia Palomino

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi familia en especial a mis padres Fidelina Palomino y Hugo Tapia, quienes me apoyaron a lo largo de mi carrera universitaria siendo la base fundamental de este logro alcanzado, me siento orgulloso de ser su hijo porque son los mejores padres que Dios me pudo dar, a mis hermanas Ana Tapia y Claudia Tapia por aconsejarme cuando lo necesitaba, y a alguien muy especial que conocí a lo largo de mi carrera universitaria Koraima Zambrano, gracias por su paciencia y apoyo incondicional, quien siempre me acompañó y me llenó de valor para lograr esta meta.

Luis Fernando Tapia Palomino

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por la sabiduría que me dio durante mi carrera universitaria y por todas sus bendiciones, a mi madre Aracely Gomez por creer en mi en todo momento, a mi padre José Burbano por ser ejemplo de responsabilidad y sacrificio quien me motivo a seguir siempre adelante y a mis hermanos Anthony Burbano y Katherine Burbano por su apoyo incondicional.

José Jacinto Burbano Gomez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros tutores PhD Emérita Delgado, PhD Juan Peralta, por guiarnos a lo largo de este proyecto y compartir sus conocimientos y experiencia, para llevar a cabo nuestro proyecto.

DECLARACION EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jose Jacinto Burbano Gomez y Luis Fernando Tapia Palomino damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Jose Burbano

Luis Tapia

EVALUADORES

Emérita Delgado Plaza, PhD.
PROFESOR DE LA MATERIA

Juan Peralta Jaramillo, PhD.
TUTOR DE LA MATERIA

RESUMEN

En este siglo XXI el mundo se enfrenta a muchos retos energéticos, puesto a que se conoce que las reservas fósiles se agotarán, actualmente a Ecuador se lo reconoce como un país tercermundista en vías de desarrollo en la parte energética. La aceleración del calentamiento global, emisiones de gases de efecto invernadero son los principales impactos negativos que se presenta por el consumo de estos recursos.

A partir de aquí surge la necesidad de diseñar y construir un prototipo que nos permita optar por otras opciones y no consumir estos recursos que están pronto por agotarse.

El grupo de bioenergía de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil requiere un sistema de agitación para un cultivo de microalgas, donde el presente proyecto fue elaborado en colaboración con miembros de la ESPOL para efectuar estudios de laboratorios. Como objetivo principal fue construir un sistema de agitación que tenga un rango de operación de [10 – 20] rpm. Para lograr estos requerimientos se realizó un diseño de sistema de potencia, un análisis de las resistencias de los materiales, un análisis de fatiga y una simulación de la parte estática de todo el reactor, se utilizaron criterios de selección de materiales y diseños de sistemas mecánicos.

En la simulación estática del reactor se obtuvieron resultados que estaban en el rango del análisis matemático antes elaborados, de esta manera se procedió a la construcción del sistema de agitación y posteriormente mediante pruebas se validaron los resultados, obteniendo 18 rpm estando en el rango de operación, logrando de esta manera los objetivos propuestos.

Se logró observar que el proyecto es viable y rentable, todos los materiales y componentes mecánicos que se utilizó para la elaboración y construcción están en el mercado local y de fácil acceso, generando un costo de fabricación de \$ 600 dólares.

Palabras Clave: Bioenergía, Microalgas, Sistema de agitación, Rentable.

ABSTRACT

In this 21st century the world faces many energy challenges, since it is known that fossil reserves are depleted, currently Ecuador is recognized as a developing third world country in the energy part. The acceleration of global warming, greenhouse gas emissions are the main negative impacts that arise from the consumption of these resources.

From here the need arises to design and build a prototype that allows us to opt for other options and not consume these resources that are soon to run out.

The bioenergy group of the Faculty of Natural Sciences of the University of Guayaquil requires an agitation system for a microalgae culture, where this project was developed in collaboration with ESPOL members to carry out laboratory studies. The main objective was to build an agitation system that has an operating range of [10-20] rpm. To achieve these requirements, a power system design, an analysis of the resistance of the materials, a fatigue analysis and a simulation of the static part of the entire reactor were performed, material selection criteria and mechanical system designs were used.

In the static simulation of the reactor, results were obtained that were in the range of the mathematical analysis previously elaborated, in this way the agitation system was built and later the tests were validated, obtaining 18 rpm being in the operating range, thus achieving the proposed objectives.

It was possible to observe that the project is viable and profitable, all the materials and mechanical components that were used for the elaboration and construction are in the local market and easily accessible, generating a manufacturing cost of \$600.

Keywords: Bienergy, Microalga, Agitation system, Profitable

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGIA	VII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	XII
INDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Sistemas abiertos	7
1.4.2 Sistemas cerrados	9
1.4.3 Sistemas de potencia.....	12
1.4.4 Sistema de Agitación	23
1.4.5 Eje de transmisión	25
CAPITULO 2.....	26
2. METODOLOGIA.....	26
2.1 Metodología de Diseño.....	26
2.2 Requerimiento de diseño.....	27

2.3	Restricciones del diseño.....	27
2.4	Dimensionamiento del reactor	28
2.5	Alternativas de diseño	29
2.5.1	Selección del motor para el sistema de agitación	29
2.5.2	Selección del sistema de agitación	31
2.5.3	Selección de material para las Paleta del sistema de agitación.....	32
2.5.4	Selección de material para eje de transmisión.....	32
2.6	Cálculos.....	33
2.6.1	Perdidas de carga.....	33
2.6.2	Dimensionamiento del sistema de agitación por Paletas	38
2.6.3	Dimensionamiento del Reactor	38
2.6.4	Cálculo de la fuerza mecánica que efectúa las palas	39
2.6.5	Cargas aplicadas a las palas	40
2.6.6	Cálculo de las recciones sobre el eje.....	42
2.6.7	Calculo del punto critico al cual este sometido el eje	44
2.6.8	Diseño del eje	46
2.6.9	Selección de la chumacera para el eje	48
2.6.10	Selección de las bandas y poleas para el sistema de potencia.....	48
2.6.11	Diseño de la junta empernada del motor	50
CAPITULO 3.....		53
3.	ANALISIS Y RESULTADOS.....	53
3.1	Modelo final del Reactor.....	53
3.2	Modelo final del Motorreductor	54
3.3	Modelo final del eje de transmisión	55
3.4	Modelo final de los Agitadores de Paleta	56
3.5	Chumacera	56
3.6	Construcción final del equipo.....	57

3.6.1	Construcción del eje	57
3.6.2	Construcción de las palas	57
3.6.3	Acople de las palas con el eje.....	58
3.6.4	Selección del sistema de potencia.....	58
3.6.5	Construcción de la base.....	59
3.6.6	Montaje del equipo.....	60
3.7	Resultados de la simulación del reactor tipo raceway	60
CAPITULO 4.....		64
4.	CONCLUSIONES Y RECONMEDACIONES	64
4.1	CONCLUSIONES.....	64
4.2	RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFIA.....		66
APENDICE		68
APENDICES A		68
APENDICE B		74

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politecnica Del Litoral
FMCP	Facultad de Mecánica y Ciencias De La Producción
HP	Horse Power
RPM	Revoluciones por minutos
V- DC	Voltaje de corriente directa
V- AC	Voltaje de corriente alterna

SIMBOLOGIA

m	metros
L_T	Longitud total del reactor
L	Longitud del canal
W	Ancho del canal
m/s	Metros por segundo
Δh_{canal}	Perdida de carga por rozamientos
v	Velocidad del fluido en el reactor
n	Coefficiente de rozamiento de Manning
R_h	Radio Hidráulico
b	Ancho inferior del canal
Δh_{curva}	Perdida de carga por rozamiento de los codos
K	Constante para codos
g	Gravedad
Δh_{total}	Perdida total de rozamientos
P	Potencia
ρ	Densidad
Q	Caudal
η	Eficiencia
H	Altura de la pala
T	Torque
$F_{paletas}$	Fuerza de las paletas
$R_{paletas}$	Radio de las paletas
f_e	Fuerza de empuje
m	Masa
V	Volumen
α	Aceleración angular
I	Inercia
v	Velocidad
v_o	Velocidad Inicial
F	Fuerza

M	Momento
B_y	Reacción en una chumacera
A_y	Reacción en una chumacera
B_x	Reacción en una chumacera
A_x	Reacción en una chumacera
M_{max}	Momento máximo
σ_a	Esfuerzo de flexión
σ_m	Esfuerzo de flexión
τ_a	Esfuerzo de Torsión
τ_m	Esfuerzo de Torsión
S_{ut}	Limite de resistencia a la rotura
S_y	Limite de fluencia
S_e	Resistencia a la fatiga
ω	Velocidad angular
k_{fm}	Concentradores de esfuerzo debido a la fatiga
k_{fsm}	Concentradores de esfuerzo debido a la fatiga
d	Diámetro del eje
P_{diseno}	Potencia de Diseño
$F_{servicio}$	Factor de servicio
$R_{velocidad}$	Relación de Velocidad
N_f	Factor de seguridad

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Mecanismo de Producción de microalgas	4
Figura 1. 2 Chlorella	5
Figura 1. 3 Scenedesmus	5
Figura 1. 4 Uronema	5
Figura 1. 5 Spirulina.....	6
Figura 1. 6 Dunaliella salina.	6
Figura 1. 7 Haematococcus.....	6
Figura 1. 8 Elementos o sustancias que se pueden obtener a partir de las microalgas y de utilización de la biomasa.....	7
Figura 1. 9 Balsas abiertas de cultivos de Dunaliella Australia	8
Figura 1. 10 Canales o Raceway Pond.	9
Figura 1. 11 Tanques circulares	9
Figura 1. 12 Recipientes para producción de microalgas en cámaras.	10
Figura 1. 13 Fotobiorreactores.	11
Figura 1. 14 Fotobiorreactor de columna de burbuja.	12
Figura 1. 15 Motorreductor.	13
Figura 1. 16 Motor de paso Reluctancia variable	14
Figura 1. 17 Motor de paso Imán permanente.....	15
Figura 1. 18 Motor de paso Híbrido	15
Figura 1. 19 Bandas Planas.	16
Figura 1. 20 Bandas en V.	16
Figura 1. 21 Bandas Redondas.	17
Figura 1. 22 Bandas Dentadas.	17
Figura 1. 23 Bandas eslabonadas.	17
Figura 1. 24 Partes que conforman una Polea]	18
Figura 1. 25 Polea fija.....	18
Figura 1. 26 Polea móvil	19
Figura 1. 27 Poleas compuestas.	19
Figura 1. 28 Tipos de sistema de Polea con correa.	20
Figura 1. 29 Chumacera y sus componentes.	20
Figura 1. 30 cuerpo de la chumacera.	21
Figura 1. 31 Rodamiento	21

Figura 1. 32 copilla chumacera.....	21
Figura 1. 33 Prisionero.	22
Figura 1. 34 Chumacera de Pedestal.	22
Figura 1. 35 Chumacera de pared.	22
Figura 1. 36 Chumacera tipo Brida.	23
Figura 1. 37 Chumacera tensora.	23
Figura 1. 38 Agitadores de Paleta.	24
Figura 1. 39 Agitadores de turbina.	24
Figura 1. 40 Agitadores de hélices.	24
Figura 1. 41 Eje de trasmision.	25
Figura 2. 1 Esquema de la metodología a usar para la elaboración del sistema Raceway.	27
Figura 2. 2 Dimensionamiento del reactor.	28
Figura 2. 3 Motorreductor	31
Figura 2. 4 Eje de acero inoxidable.	33
Figura 2. 5 Aspas tipo Pala.....	40
Figura 2. 6 Diagrama de cuerpo libre de la pala sometida a la fuerza de empuje que el líquido efectúa sobre ella.....	41
Figura 2. 7 Representación de la viga sometida a una fuerza distribuida y apoyada en los extremos por dos chumaceras en el plano Y-Z.....	42
Figura 2. 8 Representación de la viga sometida a una fuerza distribuida y apoyada en los extremos por dos chumaceras en el plano X-Z.	43
Figura 2. 9 Diagrama de fuerza cortante.	44
Figura 2. 10 Diagrama de momento flector.	44
Figura 2. 11 Diagrama de fuerza cortante.	45
Figura 2. 12 Diagrama de momento flector.	45
Figura 2. 13 Representación gráfica del comportamiento de un elemento sometido a esfuerzo reversible.	46
Figura 2. 14 Chumacera.	48
Figura 2. 15 DCL de la polea.....	50
Figura 3. 1 Dimensiones de la Piscina.....	54
Figura 3. 2Especificaciones del Motorreductor.....	54
Figura 3. 3 Bandas y Poleas.....	55
Figura 3. 4 Agitadores de Paleta.	56

Figura 3. 5 Chumacera.....	56
Figura 3. 6 Perforación de eje.	57
Figura 3. 7 Palas soldadas.	58
Figura 3. 8 Acople de las palas con el eje.	58
Figura 3. 9 Sistema de potencia.	59
Figura 3. 10 Aplicación de pintura a la base.....	59
Figura 3. 11 Montaje de los elementos.....	60
Figura 3. 12 Propiedades del acero inoxidable.....	61
Figura 3. 13 Fuerzas aplicada en el sistema.	61
Figura 3. 14 Control de Mallado del reactor.....	62
Figura 3. 15 Análisis estático del reactor (Von Mises).....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz de decisión para la selección del motor.	30
Tabla 2.2 matriz de decisión para el sistema de agitación.	32
Tabla 2.3 Matriz de decisión para la selección del material del eje.....	33
Tabla 3.1 Dimensiones de la Piscina.....	53
Tabla 3.2 Especificaciones del Motorreductor.....	54
Tabla 3.3 Bandas y Poleas.....	55
Tabla 3.4 Eje Transmisión.....	55
Tabla 3.5 Dimensionamiento de las paletas.....	56

INDICE DE PLANOS

Plano 1. Diseño y construcción de un sistema de agitación para el cultivo intensivo de biomasa algal en un sistema tipo Raceway Ponds.....	75
Plano 2. Dimensionamiento de la Piscina.....	75
Plano 3. Dimensionamiento de las Aspas.	75
Plano 4. Dimensionamiento del Eje.	75
Plano 5 Dimensionamiento del Soporte.....	75
Plano 6. Dimensionamiento del Ángulo 1	75
Plano 7. Dimensionamiento del Ángulo 2	75

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El mundo se enfrenta a futuros retos energéticos puesto que se ha indicado que las reservas de combustibles fósiles se agotarán en medio siglo (Harun et al. 2011, Rawat et al. 2011). El consumo de estos recursos sumó el 86,9% de la energía primaria en el 2012 (BP, 2013), por lo que es el principal causante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), acelerando el calentamiento global y las temidas consecuencias que éste conlleva (IEA, 2013). Las principales economías mundiales tienen la necesidad de reducir el consumo fósil debido a cuestiones de seguridad energética. Por este motivo es crucial explorar las fuentes renovables de energía para el futuro (Park et al. 2011b).

Con este antecedente, la producción de biomasa podría proporcionar aproximadamente 25% de las necesidades energéticas mundiales, además de aportar como fuente de productos biotecnológicos, farmacéuticos y aditivos alimentarios (Rawat et al. 2011, Wang et al. 2012). La biomasa algal ha resultado ser una de las fuentes de energía renovables mayormente sustentables a partir de la digestión anaeróbica. No obstante, este tipo de energía tiene un gran inconveniente para su utilización, ya que requiere tratamientos previos a la digestión para conseguir buenos rendimientos de generación de biogás.

Existen diferentes tipos de sistemas para tratar los cultivos micro algales que permiten mejorar la eficiencia en la productividad y modificación de la composición bioquímica a través del efecto de la tasa de renovación y de la concentración de nutrientes. (Otero, 1998) (José Luis Bermúdez, 2015). Por ende, la elección del tipo de sistema para la producción de organismo fotoautótrofos es compleja, teniendo como alternativas dos diseños básicos (Borowitzka, 1999): sistemas abiertos, donde la biomasa está expuesta a condiciones ambientales; y sistemas cerrados, denominados fotobiorreactores, con poco o ningún contacto con el medio externo. (Contreras-Flores C, 2003) (MR, 2004) (C., 2009).

Económica el cultivo de microalgas es evaluado mediante factores como: PH, luz, salinidad, nutrientes, oxígeno, temperatura y agitación que intervienen en el crecimiento

y composición bioquímica; con la finalidad de alcanzar una mayor producción de biomasa. (Bocing, 1999) Los sistemas de cultivos micro algal permiten mejorar la eficiencia en la productividad y modificación de la composición bioquímica a través del efecto de la tasa de renovación y de la concentración de nutrientes. Siendo, los sistemas abiertos los mayormente implementados desde los años 50. (Borowitzka, 1999), uno de ellos es el sistema Raceway Ponds (Proyectomalgas, 2013), el cual consiste en un estanque o canal de recirculación en forma oval, de entre 0,2 y 0,5 m de profundidad y un sistema de agitación y circulación para mantener estable el crecimiento y la productividad de las microalgas con el fin de evitar la sedimentación, de tal manera que garanticen la producción de microalgas. (Proyectomalgas, 2013)

1.1 Descripción del problema

El grupo de bioenergía de la facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, en búsqueda de mejores alternativas de generación de energía actualmente se dedican al estudio de bacterias y microalgas. Entre sus actividades está en almacenamiento de cultivos de bacterias y microalgas, sin embargo, en su sistema de cultivo tipo Raceway Ponds no consta un sistema de potencia que le permita oxigenar a las mismas para mejorar la eficiencia de la productividad de biomasa.

1.2 Justificación del problema

La producción de biocombustibles con microalgas se presenta como alternativa para eliminar las desventajas de producir combustibles de primera y segunda generación en cuanto a prioridades en la distribución de tierras para la industria agropecuaria y para tratar de detener en cierta medida los efectos medioambientales de un sistema energéticamente consumista, que son irreversibles, tornándose muy importantes los proyectos que tengan como meta cambiar la matriz energética actual en el país.

El grupo de Bioenergía de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil actualmente estudia la producción de biomasa utilizando cultivos de microalgas. Los estudios son realizados con la especie *Espirulina*, motivo por el cual el presente proyecto pretende contribuir al desarrollo de un sistema abierto Raceway también conocidos como sistemas de flujo continuo, el cual es comúnmente usado en

cultivos intensivos, con un flujo rápido de agua, que permite mantener una biomasa elevada de organismos y un recambio de agua continuo que permitirá optimizar la producción de biomasa a partir del cultivo intenso de microalgas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Elaborar un sistema móvil de agitación para el cultivo intensivo de microalgas en un sistema abierto tipo Raceway Ponds según los requerimientos del grupo de bioenergía de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los elementos mecánicos necesarios para el diseño del sistema de potencia.
- Seleccionar la potencia requerida para que las aspas giren a las revoluciones adecuadas sin ocasionar daño en las microalgas ubicadas en el sistema abierto tipo Raceway Ponds.
- Determinar las dimensiones de las aspas que serán utilizada en el sistema móvil de agitación
- Construir el sistema de potencia para las pruebas a nivel de laboratorio

1.4 Marco teórico

Las microalgas son organismos fotoautótrofos, es decir que se desarrollan a partir de materia inorgánica y la energía que obtienen es proveniente del sol, usan la energía solar para la producción de biomasa siendo altamente eficaz en la fijación del dióxido de carbono, tienen un rango de 2 a 2000 micrómetros de crecimiento con una eficiencia de cuatro veces más que de las plantas. (Céspedes A. G., 2015)

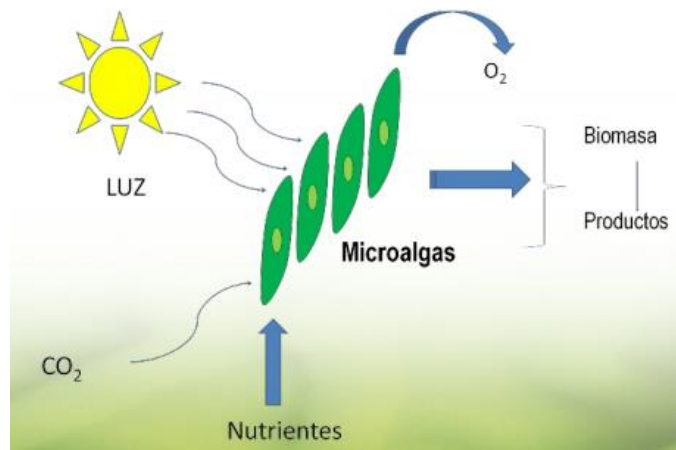


Figura 1. 1 Mecanismo de Producción de microalgas. [Céspedes A. G., 2015]

Sin embargo, algunas especies de microalgas son capaces de crecer con materia orgánica como fuente de energía o de carbono y se las puede clasificar como:

- Fotoautótrofa: las algas obtienen la energía del sol y el carbono de compuestos inorgánicos.
- Foto heterótrofa: obtienen energía del sol y usan compuestos orgánicos como fuente de carbono
- Mixotrófica: usan como fuente de energía la luz solar y la materia orgánica, obteniendo el carbono y el dióxido de carbono de los compuestos orgánicos. Por ejemplo: Spirulina o Chlamydomonas reinhardtii
- Heterótrofa: los compuestos orgánicos proporcionan la energía como fuente de carbono, es decir que existen algas que puede desarrollarse con la ausencia de la luz. Por ejemplo: Chlorella protothecoides.

Existen mas de 30,000 especies de microalgas, de las cuales solo 100 han sido estudiadas y 10 se están explotando comercialmente (Céspedes A. G., 2015), a continuación, se presentarán un listado de las microalgas más importantes:

- Chlorella

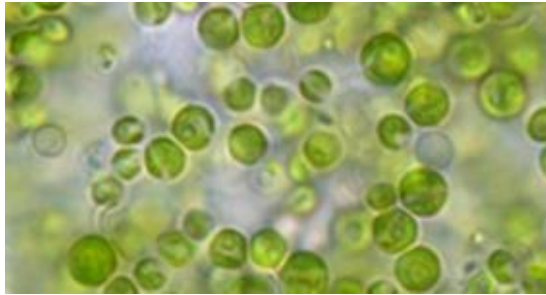


Figura 1. 2 Chlorella. [Microalgae, 2010]

➤ Scenedesmus



Figura 1. 3 Scenedesmus. [Microalgae, 2010]

➤ Uronema



Figura 1. 4 Uronema. [Microalgae, 2010]

➤ Spirulina

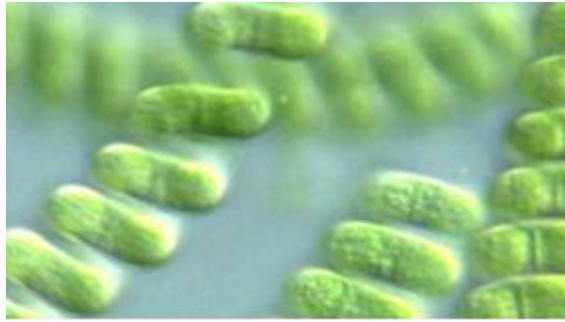


Figura 1. 5 Spirulina. [Microalgae, 2010]

➤ Dunaliella

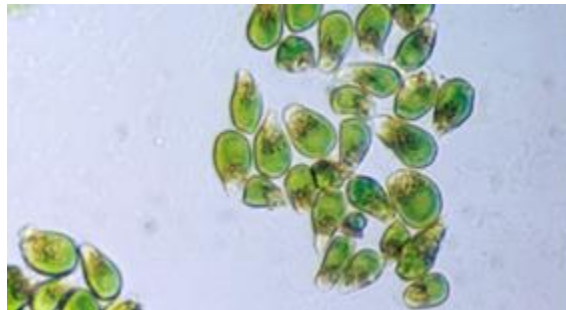


Figura 1. 6 Dunaliella salina. [Juan Roberto Benavente Valdés, 2019]

➤ Haematococcus

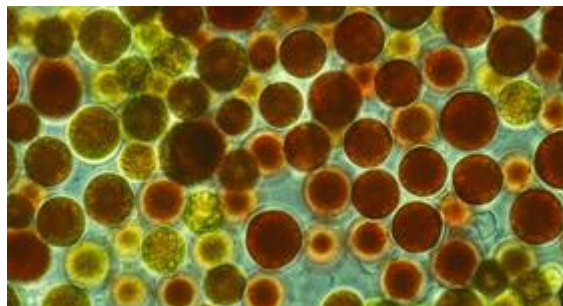


Figura 1. 7 Haematococcus. [Juan Roberto Benavente Valdés, 2019]

El interés por el cultivo de las microalgas en estos últimos años se ha aumentado por los avances importantes logrados, donde se han obtenido aplicaciones para el uso de las microalgas, estas están proporcionando posibilidades de negocio a empresarios debido a la gran cantidad de aplicaciones que tienen como, por ejemplo, la producción de

energía, purificando aguas residuales, alimentación o producción de sustancias como vitaminas. (Céspedes A. M., 2016)

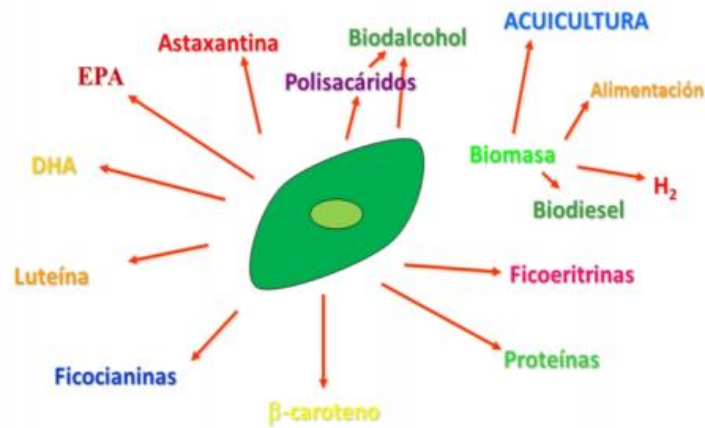


Figura 1. 8 Elementos o sustancias que se pueden obtener a partir de las microalgas y de utilización de la biomasa. [Céspedes A. M., 2016]

La frecuente clasificación del tipo de cultivo de microalgas se basa en la configuración y tipo de funcionamiento. Existe una gran variedad de sistema de microalgas, dependiendo principalmente de su aplicación. Conociendo el destino del uso de la biomasa producida se puede elegir la mejor opción para su cultivo a gran escala y optimizarla (Acién et al., 2013). Los sistemas principales de producción de microalgas son: sistemas abiertos y sistemas cerrados. (S.L., 2013)

1.4.1 Sistemas abiertos

Universalmente se conoce a esta clasificación como un tipo de sistema donde la luz penetra directamente encima de la superficie del cultivo, el mismo se encuentra expuesto a la contaminación del medio ambiente. Vale acotar que para la producción de microalgas es importante agua, una fuente de energía (luz) y dióxido de carbono.

Dentro de sus antecedentes históricos se ubica que la utilización de “los sistemas abiertos trasciende desde décadas atrás y son los más frecuentes en la producción de microalgas”. (Agro, 2016). Los mismos pueden clasificarse en aguas naturales, en lagunas, en piscinas, en lagos.

Los sistemas abiertos presentan una gran ventaja como es su bajo costo, facilidad de construcción y operación. Así como estos sistemas producen ventajas también tienen sus desventajas como es dificultad de acceder a la luz, necesidad de grandes terrenos, las células están expuestas a la contaminación por parte de organismos heterótrofos de grandes rendimientos (Labbé, 2014)

El rendimiento de este sistema si lo comparamos con un sistema cerrado es mucho más baja y susceptible al medio ambiente, la producción y el crecimiento del cultivo depende de las condiciones ambientales en las cuales están expuestas, por lo que en un sistema abierto no se puede controlar la temperatura del agua y del CO₂. (Agro, 2016).

A continuación, se definirán los tipos de sistemas abiertos mas usados en la producción de microalgas.

1.4.1.1 Balsas

Las balsas abiertas son piscinas artificiales de agua con una profundidad definida donde las microalgas progresan sin ningún elemento mezclado (Agro, 2016)



Figura 1. 9 Balsas abiertas de cultivos de Dunaliella Australia [Céspedes, 2016]

1.4.1.2 Sistema Raceway Ponds

Se conoce como un canal o Raceway a los estanques con poca profundidad que poseen características de pista ovalada; Las paredes se encuentran compuestas de un material adecuado resistente a la corrosión. Una de las ventajas de este sistema es el bajo costo de construcción que presenta. Además, El sistema del cultivo tipo Raceway es frecuentemente utilizado en las industrias que dedican sus funciones a la producción de biomasa.



Figura 1. 10 Canales o Raceway Pond. [Céspedes A. M., 2016]

1.4.1.3 Piscinas Inclinadas

Se conoce como Piscina inclinada a un sistema abierto. La turbulencia en el sistema “piscinas inclinadas” se crea por el efecto de la gravedad, estos sistemas presentan varios inconvenientes entre los que está una elevada evaporación. (Agro, 2016)

1.4.1.4 Tanques Circulares

Estos sistemas frecuentemente muestran algunos inconvenientes, la superficie que ocupa, el elevado costo de la elaboración de este tipo de sistema, pero uno de los inconvenientes que más afecta es el alto consumo de energía



Figura 1. 11 Tanques circulares. [Manufacturing, 1964]

1.4.2 Sistemas cerrados

En este tipo de sistema la luz no golpea directamente encima de la superficie del cultivo pero tiene que pasar a través de las paredes transparentes del reactor para llegar a las células cultivadas, estos sistemas no acceden o limitan el fuerte intercambio de gases y contaminantes estos sistemas generan una protección contra la lluvia, una razón por la cual los hace perfectos para la mayoría de especies de microalgas que no pueden

exponer por un largo tiempo al aire libre por que sufren el peligro de ser dominados por otras especies

Los sistemas cerrados muestran algunas ventajas considerables comparándolos con los sistemas abiertos como un uso más eficiente de la irradiancia, que genera una producción de cultivos más concentrados, la posibilidad de cultivar todo el año, una disminución de las pérdidas por evaporación, un superior control de algunas variables como la temperatura y mayor facilidad de operación en continuo (Hernandez, 2016)

A continuación, se definirán los tipos de sistemas cerrados más usados en la producción de microalgas.

1.4.2.1 Cámaras de Microalgas

Este sistema cerrado se lo diferencia por lo que es un sistema a pequeñas escalas, lo cual las microalgas escalan para lograr aumentar su volumen.

La forma y el tamaño de este recipiente son muy diversas, y permite que el cultivo se mantenga en condiciones óptimas de temperatura, humedad, luz, etc.

En este sistema la luz que se necesita generar es artificial, mediante unos tubos fluorescentes que permitan lograr una distribución homogénea de luz, y radiación ultravioleta. Es menos complicado realizar un control de temperatura en este sistema que en un sistema abierto, por la razón que estos sistemas no permiten que se emita mucha luz al cultivo, lo cual no genera una grande energía de calor y esto facilitaría el control de temperatura. (Agro, 2016)

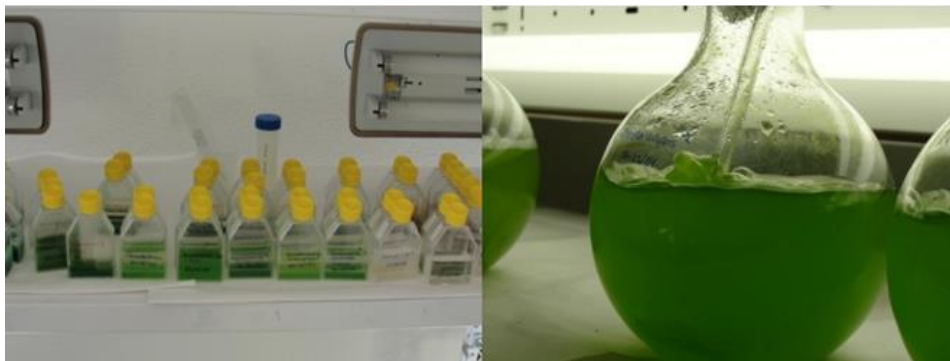


Figura 1. 12 Recipientes para producción de microalgas en cámaras. [Céspedes A. M., 2016]

1.4.2.2 Fotobiorreactores

Este es un sistema totalmente cerrado, forzado al máximo para generar un mayor crecimiento en las microalgas, estos sistemas se lo caracterizan por el control y regulación de la mayoría de los parámetros de crecimiento de las microalgas (Agro, 2016)

Este sistema presenta las ventajas de generar que el cultivo no se contamine como lo hace un sistema abierto, hace mejor el uso de la luz, el agua y el CO₂. Con este tipo de sistema se puede lograr efectuar un mejor control de los parámetros del cultivo y por ende se logrará obtener una mejor producción (Hernandez, 2016)



Figura 1. 13 Fotobiorreactores. [Céspedes A. M., 2016]

1.4.2.3 Columnas de Burbujeos

Siendo un fotobiorreactor que se conforma por una columna vertical, entre un radio que puede oscilar entre 5 y 50 cm y una altura generalmente de 1 a 4 m.

La agitación y el intercambio de gases se lo realiza por la inyección de aire enriquecido de Dióxido de carbono por el fondo de la columna. Para el diseño de estos sistemas la restricción de altura es relacionada con la limitación en la transferencia de gases, así como la resistencia de los materiales usados para la construcción de la columna. (Agro, 2016)



Figura 1. 14 Fotobiorreactor de columna de burbuja. [Jones, 2014]

Dentro de este proyecto se implementará el sistema tipo canal o raceway, donde el cultivo circula y se mezcla para favorecer la estabilidad del crecimiento y productividad de las microalgas. Se suelen propulsar mediante paletas, hélices, inyectores de aire, etc. (Jorquera et al., 2010).

Para la implementación de un sistema móvil de agitación para cultivo de biomasa microalgal en un sistema tipo raceway se necesita de un excelente diseño acorde a los elementos que conforman dicho sistema, los que se nombran a continuación:

- Sistema de circulación (piscina y canal)
- Sistema de agitación constituida por las Aspas
- Sistema de potencia constituidos por el Motor y eje

1.4.3 Sistemas de potencia

Para lograra transmitir potencia de un motor eléctrico o alguna fuente motriz generadora dirigida a otro elemento o maquina existe un diseño mecánico formado por algunos elementos conocido como sistema de transmisión de potencia. La transmisión se logra generar mediante elementos con grados de libertad en rotación, conocidos como elementos rotantes. La forma más sencilla de generar transmisión de potencia es mediante la rotación de un eje motriz a un eje conducido, logrando obtener la velocidad angular requerida para la aplicación, aumentando o disminuyendo la velocidad del eje (Vasquez, 2009)

1.4.3.1 Moto reductores

Un motorreductor es un motor conectado directamente con un reductor, una de las ventajas del motorreductor es su tamaño ya que estos son compactos. Un motorreductor generalmente tiene el engrane de entrada del reductor montado sobre la flecha o eje del motor, como se muestra a continuación.



Figura 1. 15 Motorreductor. [C.V, 2016]

Los motorreductores son una combinación mucho más simple que las otras combinaciones de motores y reductores, estos no usan acoples y como resultado su instalación es más simple, por ende, requiere menor mantenimiento y el costo de instalación es reducido. Los motorreductores están disponibles en un gran rango de potencia y de relaciones de reducción. (C.V, 2016)

1.4.3.2 Motores a pasos

Los motores a pasos son dispositivos electromecánicos que transforman la variable de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares.

Un motor a pasos es perfecto para el diseño y construcción de mecanismos que requieran movimientos precisos. Una de las características fundamental de los motores a pasos es la facilidad de poder manipularlo un paso a la vez por cada pulso que se le aplique.

Eso puede variar el paso desde los 90 grados hasta movimientos más pequeños de 2 grados, siendo la razón que este tipo de motores sean lo más utilizados (Mecafenix, 2019)

1.4.3.2.1 Tipos de Motores a Pasos

➤ Reluctancia variable

Estos motores pueden realizar movimiento sin limitaciones o sin un par de paradas (Es el par de mantenimiento cuando no hay presencia de corriente en el motor), el motivo principal es que no utilizan un campo magnético permanente. (Mecafenix, 2019)

Generalmente estos motores operan con desplazamientos angulares en el rango de 5 a 15 grados, y su velocidad de paso es muy alta. (Arco, 2016)

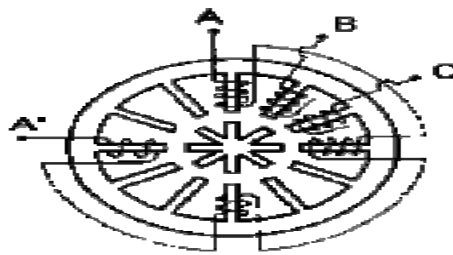


Figura 1. 16 Motor de paso Reluctancia variable [Arco, 2016]

➤ Imán Permanente

Estos motores de paso conocido como imán permanente se caracterizan por permitir un par diferente de cero en el momento cuando no existe energía en el motor. Los desplazamientos angulares posibles son 7.5,11.25,15,18,45,90 grados, la velocidad de pasos es muy baja. (Arco, 2016)

Este desplazamiento angular va a depender del diseño y construcción del motor a pasos. Su ángulo de rotación se lo conoce por la cantidad de polos que se encuentre en el estator

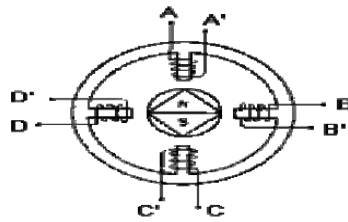


Figura 1. 17 Motor de paso Imán permanente [Arco, 2016]

➤ **Híbrido**

Estos motores de pasos conocido como híbrido se caracterizan por que el rotor y el estator poseen varios dientes y posee un imán concéntrico magnetizado axialmente en la superficie de su eje.

Estos motores de pasos híbridos es una mezcla de configuraciones de los otros dos motores antes mencionados (imán permanente y reluctancia variable), estos tipos de motores tienen una precisión relativamente alta, el paso angular que se le puede suministrar pueden ser tan pequeños como 1.8 grados (Arco, 2016)

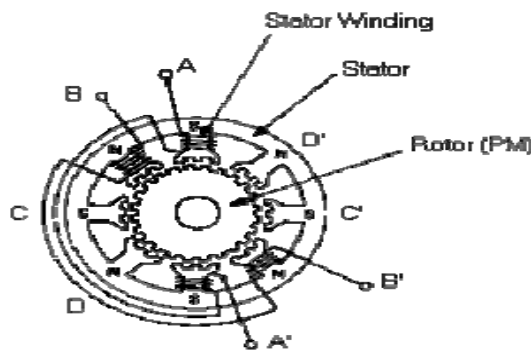


Figura 1. 18 Motor de paso Híbrido [Arco, 2016]

1.4.3.3 Bandas

Los elementos de máquinas flexibles como son las bandas, cables o cadenas son comúnmente usados para transmitir potencia de un lugar a otro, simplificando las instalaciones mecánicas o construcciones de máquinas; estos elementos flexibles han sido denominados unos de los elementos más importantes para reducir costos en las industrias. Las bandas está conformada por una cinta que generalmente están colocadas

en tensión con dos poleas (una motriz y otra móvil), que al moverse transmiten energía desde la polea motriz a la polea móvil. (Andrés Felipe Trujillo Bustos, 2011)

En función de la sección transversal estas se clasifican en:

➤ **Bandas Planas**

Tienen sección transversal rectangular, son usadas para grandes distancias entre centro de las poleas, para grandes fuerzas periféricas, sirven para poleas de diámetros pequeños, se construyen de caucho y poliamidas. (Colcha)



Figura 1. 19 Bandas Planas. [Oro, 2014]

➤ **Bandas en V**

Distancia entre centros pequeñas, grandes relaciones de transmisión se clasifican según el cociente entre la base sobre su altura. (Colcha)

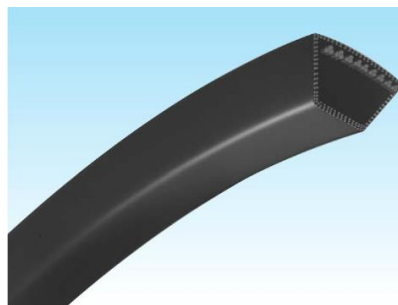


Figura 1. 20 Bandas en V. [Oro, 2014]

➤ **Bandas redondas**

Se emplean para bajas potencias, el diámetro de la sección transversal oscila entre 3 y 12 mm, el perfil de la polea puede ser semicircular o trapecial a 40°, se construyen de cuero, algodón y caucho. (Colcha)



Figura 1. 21 Bandas Redondas. [Oro, 2014]

➤ **Bandas dentadas**

Cubren una gran variedad de gama de pasos y anchos, tienen alta eficiencia (98%), tienen alta resistencia a la fatiga, se fabrican con gran resistencia a altas temperaturas y al contacto con aceites y derivados del petróleo. (Colcha)

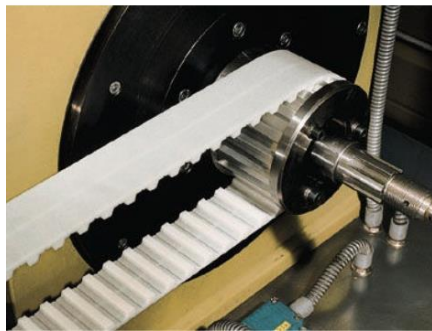


Figura 1. 22 Bandas Dentadas. [Oro, 2014]

➤ **Bandas eslabonadas**

Son usadas para reparaciones de emergencia, para requerimientos especializados donde la instalación no se puede hacer con correas sin fin. (Colcha)



Figura 1. 23 Bandas eslabonadas. [Oro, 2014]

1.4.3.4 Poleas

La polea es una rueda, disco metálico o roldana que generalmente se hacen de metal, estas están conformada por:

Un orificio el cual permite el paso de un eje que le dará el movimiento a la polea y un canal o garganta donde se colocan las bandas o cables que generalmente se usan como elementos de transmisión para cambiar la dirección del movimiento en un mecanismo. (Andrés Felipe Trujillo Bustos, 2011)

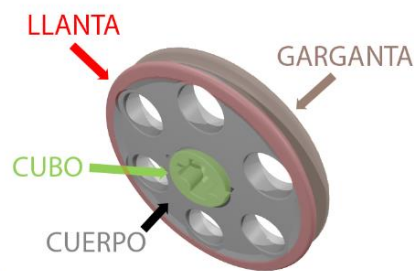


Figura 1. 24 Partes que conforman una Polea. [Arco, 2016]

Las poleas se pueden clasificar en:

➤ Poleas simples fija

Este tipo de polea cuelga de un punto fijo, permiten mejorar la posición para tirar de la cuerda ya que la dirección y el sentido de las fuerzas cambia.

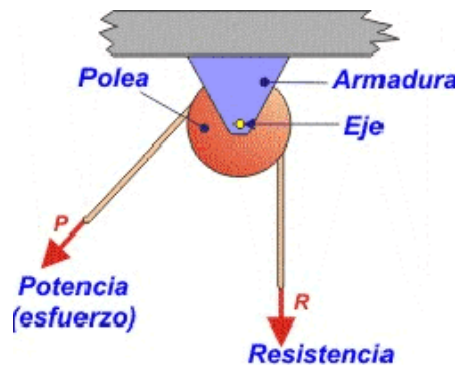


Figura 1. 25 Polea fija. [Arco, 2016]

➤ Poleas móviles

Es una polea que tiene uno de sus extremos anclado a un punto fijo y el otro móvil que se conecta a un mecanismo de tracción. Estas poleas están conformadas por un sistema de eje-armadura permitiendo arrastra la carga mientras esta se mueve.

La polea móvil proporciona ganancia mecánica al sistema, por lo general cada polea móvil proporciona una ganancia igual a 2.

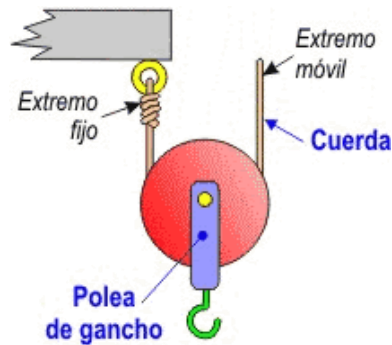


Figura 1. 26 Polea móvil. [Arco, 2016]

➤ Poleas compuestas

Sirven para elevar grandes pesos con un bajo esfuerzo, estos sistemas de poleas son diversos, teniendo en común la agrupación de poleas fijas y poleas móviles.



Figura 1. 27 Poleas compuestas. [Arco, 2016]

➤ Poleas con correas

Es un mecanismo que sirve para transmitir movimientos circulares entre dos ejes situados a cierta distancia. Cada eje se conecta a una polea y entre ambas poleas se pasa una correa que permite transmitir el movimiento circular por rozamiento.

El giro de un eje se transmite al otro eje a través de las poleas que están acopladas a ambas poleas, los dos ejes y las dos poleas giran en el mismo sentido, por lo tanto, la relación de la velocidad de giro de las poleas es la misma relación de transmisión en las ruedas de fricción. (Oporto)

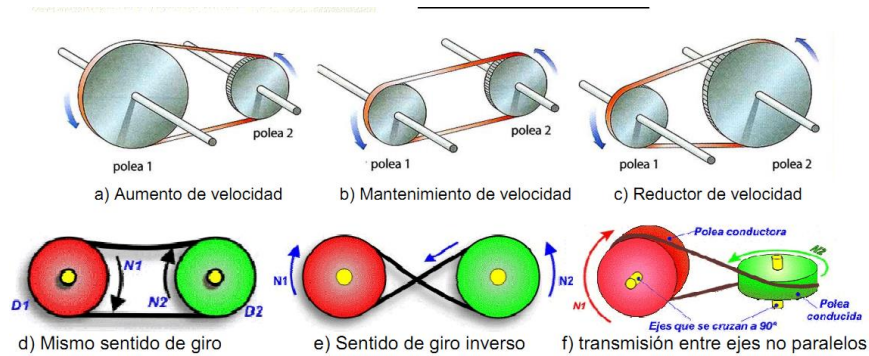


Figura 1. 28 Tipos de sistema de Polea con correa. [Oporto]

1.4.3.5 Chumaceras y rodamientos

La chumacera es un cuerpo de acero las cuales poseen orificios para fijarlas al mecanismo pertinente, en el cuerpo de la chumacera se encuentra alojado el rodamiento directamente.

En el cuerpo de la chumacera está el rodamiento que es utilizado para dar apoyo al eje de rotación, estos tipos de cojinetes se colocan en paralelo en el eje del árbol. Estos elementos son usados en sistemas de transporte generalmente son autos lubricantes, esto significa que traen su propia lubricación por ende no es necesario hacerles mantenimiento. . (QUE ES DEFINICIÓN, 2017)



Figura 1. 29 Chumacera y sus componentes. [Arco, 2016]

A continuación, se describirán las partes de una chumacera:

- Cuerpo de la chumacera: son fabricados generalmente de acero colado, hierro moldeados entre otros. . (QUE ES DEFINICIÓN, 2017)

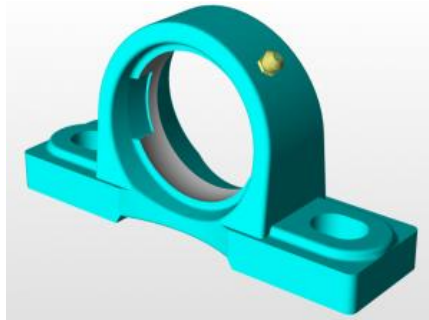


Figura 1. 30 cuerpo de la chumacera. [Arco, 2016]

- Rodamiento Chumacera: los más usados son rodamiento de bola, rodamiento de rodillo y rotula. (QUE ES DEFINICIÓN, 2017)



Figura 1. 31 Rodamiento. [Arco, 2016]

- Copilla chumacera: en su cuerpo tienen un agujero roscado donde se le puede instalar una boquilla para su lubricación. . (QUE ES DEFINICIÓN, 2017)



Figura 1. 32 copilla chumacera. [Arco, 2016]

- Prisionero: permiten ajustar el rodamiento al cuerpo de la chumacera

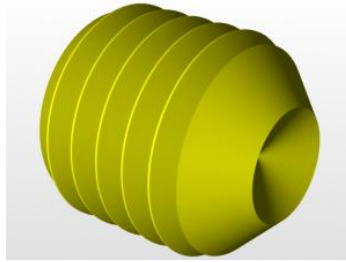


Figura 1. 33 Prisionero. [Arco, 2016]

Las chumaceras se pueden clasificar en:

- Chumacera de pedestal: son una de las más usadas, sirven para transmitir movimiento entre diferentes componentes, usualmente están ubicadas en la parte superior de la bancada. . (QUE ES DEFINICIÓN, 2017)

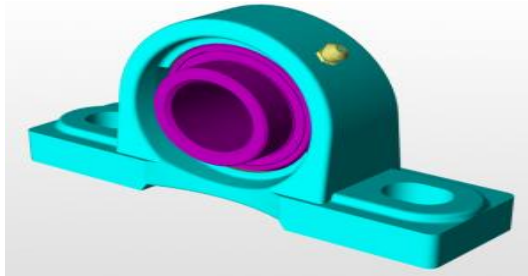


Figura 1. 34 Chumacera de Pedestal. [Arco, 2016]

- Chumacera de pared: estas se fijan al cuerpo de la máquina, son diseñadas en diferentes tamaños y en su cuerpo se encuentra un rodamiento que tiene un prisionero para fijarlo al eje. . (QUE ES DEFINICIÓN, 2017)

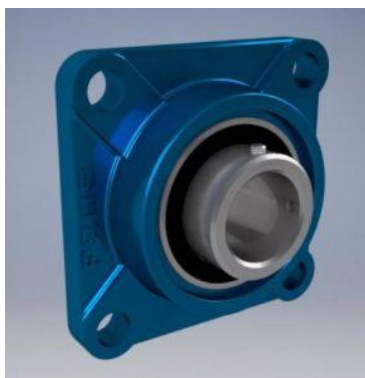


Figura 1. 35 Chumacera de pared. [Arco, 2016]

- Chumacera tipo brida: usada para sujetar ejes que transmiten movimiento entre árboles, son usadas generalmente como conductora en la transmisión. . (QUE ES DEFINICIÓN, 2017)



Figura 1. 36 Chumacera tipo Brida. [Arco, 2016]

- Chumacera tensora: estas se utilizan para la alineación de ejes, traen un tornillo con una tuerca los que permiten ajustar la tensión de la cadena o banda donde se ha de usar permitiendo su ajuste. (QUE ES DEFINICIÓN, 2017)

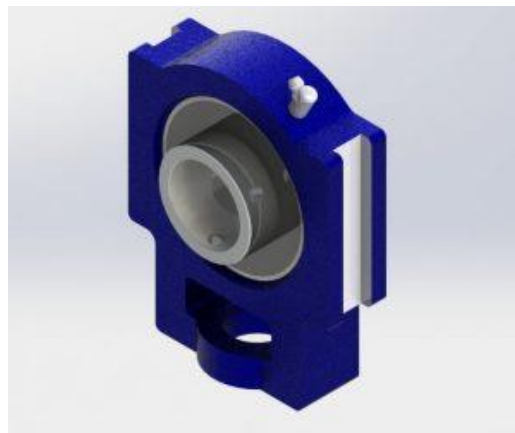


Figura 1. 37 Chumacera tensora. [Arco, 2016]

1.4.4 Sistema de Agitación

La agitación del fluido es de suma importancia por motivo que permite el movimiento circulatorio de las microalgas para oxigenarlas y de esta manera permitir su reproducción en corto tiempo.

Los agitadores se dividen; flujo axial (generan corrientes paralelas al eje del agitador) y flujo radial (generan corrientes en dirección radial).

1.4.4.1 Tipos de agitadores:

- **Agitadores de paletas:** son agitadores de flujo radial conformada por una hoja plana sujeta a un eje rotatorio, se caracterizan por girar a velocidades entre 20 a 150 rpm y por ser de construcción relativamente fácil.



Figura 1. 38 Agitadores de Paleta. [GmbH,2002]

- **Agitadores de turbina:** son agitadores de flujo radial, conformado por un impulsor de cuatro hojas fijas a un eje rotatorio, eficientes para líquidos viscosos.



Figura 1. 39 Agitadores de turbina. [GmbH,2002]

- **Agitadores de hélice:** son agitadores de flujo axial, caracterizada por operar con velocidades elevadas y se los emplea para líquidos poco viscosos.

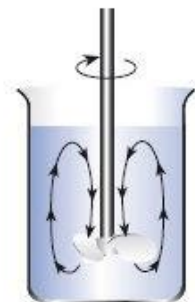


Figura 1. 40 Agitadores de hélices. [GmbH,2002]

1.4.5 Eje de transmisión

Una flecha es un elemento rotatorio, por lo general de sección transversal circular, que se emplea para transmitir potencia o movimiento. Ella constituye el eje de rotación u oscilación de elementos como engranes, poleas, volantes de inercia, manivelas, catarinas y miembros similares y, además, controla la geometría de su movimiento.

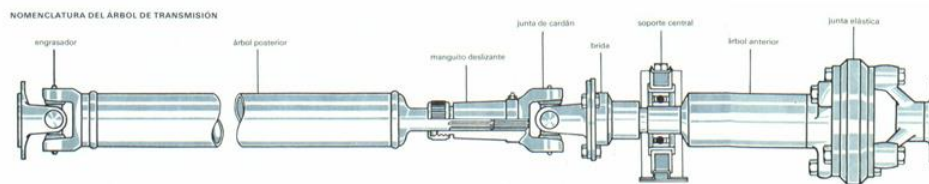


Figura 1. 41 Eje de transmisión. [Oro, 2014]

CAPITULO 2

2. METODOLOGIA

En este capítulo se definió las restricciones, requerimientos del usuario y las variables del diseño, se desarrolló un plan a seguir que organizó todo el proceso de manera ordenada y metódica, el diseñador tiene la responsabilidad de tomar las decisiones adecuadas y solucionar los problemas que tiene el usuario, este proceso de diseño siempre se transforma en un proceso iterativo.

2.1 Metodología de Diseño

La metodología para el diseño y construcción del sistema móvil de agitación para el cultivo intenso de biomasa microalga consistió, en conocer las necesidades y requerimientos del usuario para lograr definir el problema, establecer los límites y definir el alcance de solución. Una vez que se definió el problema se procedió a la búsqueda de información; Información relevante, normas aplicables y restricciones adicionales. Posteriormente se procedió a descartar alternativas de soluciones no viables matriz de decisión y criterios de ponderación, lo cual ayudo a seleccionar la mejor alternativa, que cumpla los requerimientos del usuario.

La metodología propuesta incluye las consideraciones biológicas en relación con la zona fótica, crecimiento microalga. Una variable importante es la radiación solar que genera una restricción de diseño

Una vez determinada la mejor alternativa de solución, se procedió al diseño preliminar. El análisis, la selección y dimensionamiento de los elementos que conforman un sistema Raceway, luego se procedió a realizar el diseño detallado, planos y modelamiento del prototipo en 3D. Finalmente se realizan las pruebas de funcionalidad del equipo.

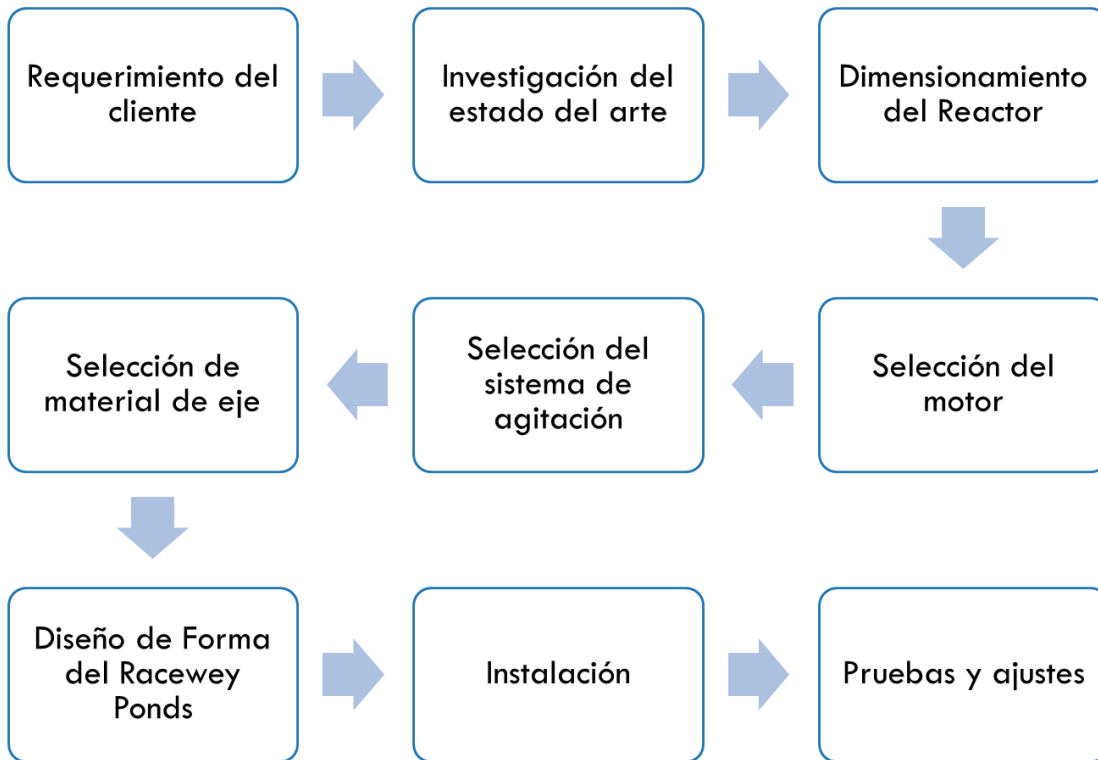


Figura 2. 1 Esquema de la metodología a usar para la elaboración del sistema Raceway.
[Elaboración propia]

2.2 Requerimiento de diseño

Las especificaciones de diseño fueron dadas por el cliente las mismas que se comentan a continuación;

- La construcción del sistema debe ser del menor costo posible
- El sistema de potencia debe ser de fácil manipulación
- Los materiales utilizados deben tener facilidad de mantenimiento
- La selección del material debe ser el adecuado para la aplicación del sistema

2.3 Restricciones del diseño

- Las aspas deben girar de 5 a 20 revoluciones por minutos
- La piscina tiene 3 metros de largo, 1.5 metros de ancho y 0,60 metros de profundidad.
- Baja velocidad para evitar romper las pareces celulares de las microalgas
- Fácil montaje en diferentes puntos del sistema tipo raceway
- Mantener un flujo uniforme
- Movilidad vertical

2.4 Dimensionamiento del reactor

El dimensionamiento que se va a realizar es de un reactor tipo Raceway Pond, generalmente estos reactores están conformados de un canal cerrado con entrada y salida de materia. Estos reactores funcionan con un sistema de impulsión que hace que el fluido dentro del reactor este en un movimiento continuo. Normalmente estos reactores se construyen con un intervalo de altura de 0,25m y 0,60 m.

Para determinar las dimensiones del reactor Raceway Pond se seguirá un procedimiento empírico el cual ha demostrado un óptimo funcionamiento de estos tipos de reactores.

Para conocer las dimensiones necesario del reactor se usará la relación que nos dice que el cociente entre el largo del canal y el ancho debe tener un valor de 10 o mayor. (Sompech, 2012)

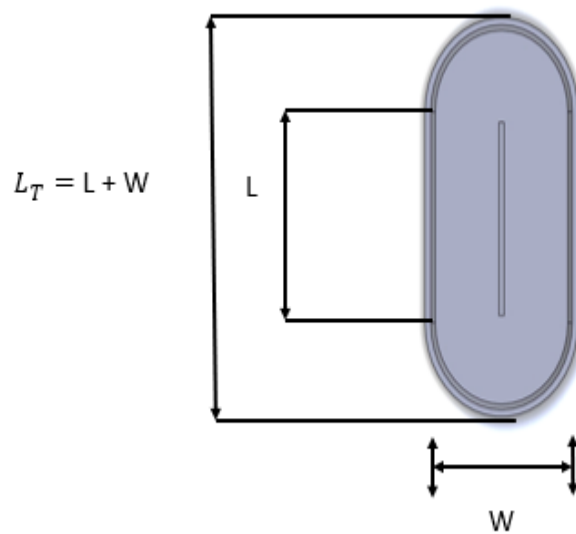


Figura 2. 2 Dimensionamiento del reactor. [Elaboración propia]

Donde:

L_T : largo total del reactor

W : ancho del canal

L : longitud del canal

Partiendo de la ecuación (2.1) se pudo obtener el ancho total del reactor empleando la ecuación (2.2)

$$\frac{L_T}{W} = 10 \quad (2.1)$$

$$W = \frac{L_T}{10} \quad (2.2)$$

De la misma manera para calcular la longitud interna del reactor se empleó la ecuación (2.3) que consta restar el valor del largo total menos el ancho total del reactor.

$$L = L_T - W \quad (2.3)$$

Finalmente, el nivel del agua estará dado por la altura de la lámina que divide el canal por la mitad siendo este de 0,30 m.

2.5 Alternativas de diseño

El diseño del sistema consta de la elaboración de un sistema móvil de agitación para cultivo intensivo de biomasa microalgas en sistema de tipo raceway. Se consideró un análisis comparativo en algunas opciones de diseño. Para cada opción se describió sus elementos internos y se procedió a seleccionar la propuesta de diseño que más conviene y se apega a las peticiones del usuario mediante una matriz de selección.

Para el análisis se ha ponderado cada criterio con valores referenciales entre 1 y 10, donde 1 es la ponderación más baja y 10 es la puntuación más alta posible. Por otra parte, los factores de ponderación estarán sometidos a partir del criterio del beneficiario del proyecto

2.5.1 Selección del motor para el sistema de agitación

El lugar de operación del sistema móvil de agitación para el cultivo intensivo de biomasa microalga será en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad

de Guayaquil. Los criterios que se consideró para seleccionar el motor del sistema de agitación fueron: costos, durabilidad, facilidad en manipulación

Durabilidad: Que sea resistente a factores como golpes y caídas. Que el tiempo de vida útil sea lo mayor posible. A este criterio se le fue asignado un factor de ponderación equivalente a 0.4.

Costos: El motor de paso más económico se le designará un valor de ponderación de 10. A esta variable el factor de ponderación designado fue de 0.3.

Facilidad de manipulación. El motor de paso con más facilidad de manipulación en la entrega de potencia tendrá un valor de ponderación de 10 y el más complicado en manipular tendrá un valor de ponderación 1. A esta variable el factor de ponderación designado fue 0.3.

Para la matriz de decisión las alternativas consideradas son: Reluctancia variable, Imán permanente e Híbrido.

Tabla 2.1 Matriz de decisión para la selección del motor. [Elaboración propia]

Criterios Alternativas	Durabilidad	Costos	Facil Manipulación	Total
Factor de ponderación	0,4	0,3	0,3	1
Motor de paso	8	10	9	8,9
Motor eléctricos	8	8	9	8,3
Motorreductor	8	10	10	9,2

Con las alternativas propuesta se designa una calificación sobre 10 puntos para cada alternativa, luego se procede a multiplicar por el factor de ponderación designado para cada variable como se aprecia en la matriz de selección de la tabla 2.1. Mediante los resultados obtenidos en la matriz de decisión se decide que el motorreductor es la mejor alternativa que se adapta a la necesidad del diseño.



Figura 2. 3 Motorreductor

2.5.2 Selección del sistema de agitación

La agitación del fluido es de suma importancia por motivo que permite el movimiento circulatorio de las microalgas para oxigenarlas y de esta manera permitir su reproducción en corto tiempo

A partir de lo anteriormente mencionado se procede a la selección del agitador, para ello se evaluaron los siguientes criterios; Velocidad de rotación, costo, fácil manipulación.

Velocidad de rotación: será el criterio más importante para las alternativas propuestas, debido a que los rangos de velocidad del fluido permitirán mantener las microalgas vivas durante la recirculación. Por ende, tendrá una ponderación de 0.5.

Costo: esta variable se le asigno una ponderación de 0,2 siendo poco relevante para el beneficiario del proyecto.

Fácil manipulación: se le asigno una ponderación de 0,3 siendo medianamente relevante. Comprende el uso, limpieza y fácil manipulación de los agitadores.

Cada alternativa se la podrá calificar en un rango del 1 al 10 siendo 1 la ponderación más baja y 10 la más alta

Tabla 2.2 matriz de decisión para el sistema de agitación. [Elaboración propia]

Criterios Alternativas	Velocidad de rotación de 5-20 rpm	Costos	Facil Manipulación	Total
Factor de ponderación	0,5	0,2	0,3	1
Agitadores de Paleta	10	4	10	8.8
Agitadores de turbina	6	10	7	7,1
Agitadores de hélice	1	5	7	3.1

Como era de esperar los agitadores de paletas es la mejor opción para nuestro sistema. Siendo los más usados para los sistemas raceways por su bajo costo, fácil manipulación y por el rango de operación el cual cumple con nuestras restricciones de diseño.

2.5.3 Selección de material para las Paleta del sistema de agitación

El agitador de paleta estará fabricado por fibra de vidrio, cada paleta estará separada por un ángulo de 45 grados.

2.5.4 Selección de material para eje de transmisión

El lugar donde va a operar el sistema raceway debe ser un lugar limpio, se consideró los siguientes criterios para tomar la decisión del material que se va a utilizar en el eje: costo, manufactura y durabilidad

Durabilidad. tiempo de vida útil sea lo mayor posible. A este criterio se le fue asignado un factor de ponderación equivalente a 0.4.

Costos: El material del eje deberá ser económico, por lo tanto, se designará un valor de ponderación de 1 a 10. El factor de ponderación designado fue de 0.3.

Manufactura: comprende el proceso de fabricación del eje. El factor ponderación designado fue de 0.1

Tabla 2.3 Matriz de decisión para la selección del material del eje. [Elaboración propia]

Criterios	Durabilidad	Costos	Manufactura	Total
Alternativas				
Factor de ponderación	0,4	0,3	0,3	1
Acero Inoxidable	10	6	10	8.8
Cobre	7	7	7	7
Plastico	5	8	8	6.8

Con los criterios designados se realiza una calificación sobre 10 puntos cada alternativa expuesta y luego se procede a multiplicar por el factor de ponderación designado para cada variable como se aprecia en la matriz de selección de la Tabla 2.1 Mediante los resultados obtenidos en la matriz de decisión se decide que el material del eje será aluminio, siendo la mejor alternativa que se adapta a la necesidad del diseño.



Figura 2. 4 Eje de acero inoxidable. [Elaboración propia]

2.6 Cálculos

2.6.1 Perdidas de carga

Como se comentó anteriormente el propósito de este sistema Raceway es mantener en movimiento la masa de agua y las algas para no producir sedimentaciones, con el sistema Raceway se tiene como objetivo aproximar una velocidad mínima de 0,20 m/s, con dicha velocidad se pretende asegurar obtener un flujo turbulento. (SANTIAGO, 2017)

El objetivo principal fue mantener esta velocidad de flujo en el canal, se le incluyo un sistema de agitación conformado por un rotor de palas. El diseño de dicho sistema de

$$\Delta h_{canal} = \frac{v^2 n^2 L}{R_h^{4/3}} \quad (2.4)$$

agitación nos dirige a realizar el cálculo de la potencia requerida para lograr desplazar el fluido y realizar el cálculo del dimensionamiento de las palas.

Para lograr calcular la potencia requerida del rotor se realizó un estudio previo de todas las pérdidas de carga que existen en el reactor, las cuales son 2:

Perdida de carga ocasionada por el rozamiento con las paredes del reactor

Perdidas de cargas ocasionadas por el cambio de sentido del fluido al momento de viajar por las curvas del reactor

A continuación, se presenta el cálculo de las pérdidas de cargas antes mencionadas que se encuentran en el reactor y la pérdida de carga total que se produce en ella.

2.6.1.1 Pérdida de carga: rozamiento con las paredes del reactor

Mientras la masa del fluido realiza su respectivo movimiento en el reactor se produce una pérdida de carga debido al rozamiento que existe entre el fluido y las paredes del reactor

Para realizar el cálculo de la pérdida de carga por rozamiento en el reactor, se utilizó la ecuación (2.4). (SANTIAGO, 2017)

Donde:

Δh_{canal} - Pérdida de carga: rozamiento con las paredes del reactor

v - Velocidad del fluido en el reactor, n - Coeficiente de rozamiento de Manning

R_h - Radio Hidráulico, L - Longitud del canal

Para la obtención del radio hidráulico del reactor se consideró la forma geométrica de la sección del canal, en nuestro caso se trató de un rectángulo donde la ecuación para calcular el radio hidráulico consta en la relación de la superficie de la sección y el perímetro mojados.

Donde el perímetro mojado consta en la altura de las paredes y el ancho del canal

$$R_h = \frac{\text{Superficie de la seccion mojada}}{\text{Perimetro mojado}} = \frac{(b * h)}{b + 2 * h} \quad (2.5)$$

Donde:

h - La altura del canal, b - El ancho inferior del canal

$$R_h = \frac{3,30 * 0,30}{3,30 + 2 * 0,30}$$

$$R_h = 0.2538[m]$$

Una vez que se obtuvo el radio hidráulico, se procedió al respectivo cálculo de la pérdida de carga ocasionada por el rozamiento con las paredes del reactor mediante la ecuación (2.4), conociendo longitud del reactor será dos veces la longitud de este y asignando el valor del coeficiente de Manning de 0.010 valor medio para construcción plásticas. (SANTIAGO, 2017)

$$\Delta h_{canal} = \frac{(0.2)^2(0.010)^2 * 3.30}{0.2538^{4/3}}$$

$$\Delta h_{canal} = 0.00008221[m]$$

2.6.1.2 Pérdida de carga: ocasionada por las curvas

El fluido efectúa un cambio brusco al momento que recorre la curva de 180 grados, el fluido tiende a perder energía interna considerablemente en forma de pérdida de carga.

Para calcular la respectiva pérdida de carga en las dos curvas se hizo el uso de la ecuación(2.6)

$$\Delta h_{curva} = K * \frac{v^2}{2g} \quad (2.6)$$

Δh_{curva} - Pérdida de carga ocasionadas por las curvas del reactor

K - Constante para codos de 180 grados, v - Velocidad del fluido en el reactor

g - Fuerza de gravedad.

El valor de K es una constante conocida para un codo de 180 grados en un canal abierto, dicho valor es de 0,2. Conocemos que la velocidad del flujo es la misma en todo el reactor. Y la velocidad del flujo en el reactor será de 0,3 m/s.

Al existir dos curvas en el reactor el valor obtenido será multiplicado por dos para obtener la pérdida total de carga ocasionadas por las curvas (SANTIAGO, 2017)

$$\Delta h_{curva T} = 2 * K * \frac{v^2}{2g} \quad (2.7)$$

$$\Delta h_{curva} = 2 * K * \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta h_{curva T} = 2 * 0.2 * \frac{0.2^2}{2 * 9.8}$$

$$\Delta h_{curva T} = 0,0008163[m]$$

2.6.1.3 Pérdida de carga total del reactor

Se logro obtener el cálculo de la perdida de carga total del reactor sumando todas las perdidas internas que existen, como lo muestra la ecuación (2.8) donde dichas cargas fueron calculadas anteriormente.

$$\Delta h_{total} = \Delta h_{canal} + \Delta h_{curva} \quad (2.8)$$

Δh_{total} - Pérdida de carga total del reactor, Δh_{canal} - Pérdida de carga ocasionada por el rozamiento con las paredes del reactor, Δh_{curva} - Pérdida de carga ocasionadas por las curvas del reactor

$$\Delta h_{total} = 0.00008221[m] + 0,0008163[m]$$

$$\Delta h_{total} = 0,0008985[m]$$

2.6.1.4 Cálculo de potencia necesaria para el impulsor

Para realizar el cálculo de potencia necesaria que requiere el impulsor se utiliza la ecuación (2.9)

$$P = 9,804 * \frac{Q * \rho * \Delta h_{total}}{\eta} \quad (2.9)$$

Una vez obtenidas la pérdida total del reactor se procede al cálculo del caudal de flujo mediante la ecuación (2.10)

$$Q = v_{reactor} * Area_{transversal} \quad (2.10)$$

Donde el área transversal es el producto de la altura del fluido con respecto a la base del reactor con el ancho del canal, como se muestra en la ecuación (2.11)

$$Area_{transversal} = h * w \quad (2.11)$$

$$Area_{transversal} = 0,3 * 0,8$$

$$Area_{transversal} = 0,24[m^2]$$

Una vez conociendo el área transversal se procede a calcular el caudal mediante la ecuación (2.10)

$$Q = 0,2 * 0,24$$

$$Q = 0,048 [m^3]$$

Se procede al cálculo respectivo de la potencia mediante la ecuación (2.9)

$$P = 9,804 * \frac{0,048 * 1000 * 0,0008985}{0,5} = 445.68Watts$$

2.6.2 Dimensionamiento del sistema de agitación por Paletas

Para el cálculo del largo de la pala del reactor se usará la ecuación (2.12):

$$L = w - 2 * (\text{holhura}) \quad (2.12)$$

$$L = 0.75 - 2 * (0.025)$$

$$L = 0.75[m]$$

Por lo cual la longitud de la pala del reactor tendrá una medida de 0.75 m

Donde:

L - Largo de la pala, W - ancho del reactor, Holgura - valor dado entre un intervalo de 0,02 a 0,05 m

Este valor de holgura se lo da para que las palas no choquen con las paredes del reactor y en nuestro caso el valor tomado fue de 0.05.

De igual manera se calcula la altura de las palas restando la holgura a la altura total del reactor a este valor se le sumará la distancia que hay desde la superficie del reactor hasta donde está ubicado el eje del rotor donde el eje estará ubicado a 15 cm sobre la superficie del fluido.

La altura de la pala estará dada por la ecuación (2.13):

$$H = (\text{altura del reactor} - \text{holgura}) \quad (2.13)$$

$$+ \text{ distancia de la superficie al eje del rotor}$$

$$H = 0.30 - 0.005 + 0.10$$

$$H = 0.395 [m]$$

Donde la altura de las palas será de 39.5 cm

2.6.3 Dimensionamiento del Reactor

Para desarrollar el dimensionamiento del reactor, se han tomado las siguientes restricciones, siendo los siguientes:

Tabla 2.4 Dimensiones del Reactor. [Elaboración propia]

Largo	330 cm
Ancho	160 cm
Profundidad	60 cm

2.6.4 Cálculo de la fuerza mecánica que efectúa las palas

Las palas estarán sometiendo una fuerza mecánica sobre el fluido al intentar moverlo a la velocidad designada, donde dicha fuerza tiene relación con el torque que se está efectuando y el brazo de palanca de dicha pala

Una vez una obtenida la potencia necesaria mediante la ecuación (2.9) para cumplir los requerimientos del cliente se procede a calcular el torque mediante la ecuación (2.14)

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (2.14)$$

$$T = \frac{372.52 \text{ watt}}{1.57 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T = 237.52 \text{ Nm}$$

T – Torque, P - Potencia del eje, ω - Velocidad angular

Conociendo el torque que ejerce las palas se procede a encontrar la fuerza mecánica de las paletas mediante la ecuación (2.15)

$$T = F_{paletas} R_{paletas} \quad (2.15)$$

$$F_{paletas} = \frac{T}{R_{paletas}}$$

$$F_{paletas} = \frac{237.52}{0.39} = 608.9 \text{ N}$$

2.6.5 Cargas aplicadas a las palas

Existen dos fuerzas que el fluido efectuara a las palas al momento que intenta ser movido, una de ella es la fuerza de empuje, y la siguiente es la fuerza de oposición que el fluido aplica al momento que las palas están rotando, donde dicha fuerza por la forma en la que interactúa con las palas se la pudo modelar como una fuerza distribuida en el eje.

Además, se definió en los requerimientos de diseño que el número de palas máximas son 4. Y las dimensiones de las palas son como se muestra en la figura 2.5

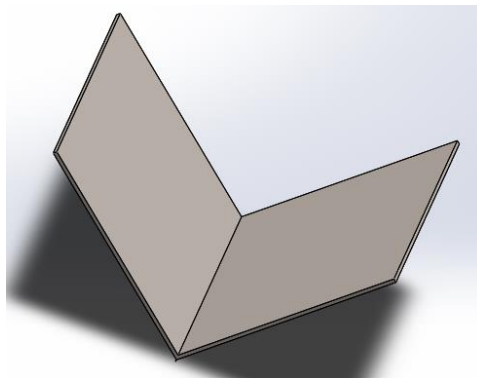


Figura 2. 5 Aspas tipo Pala. [Elaboración propia]

Existe una fuerza de empuje que el fluido está efectuando sobre las palas que se la puede conocer mediante la ecuación (2.16)

$$f_e = \rho g V \quad (2.16)$$

$$f_e = 1000 * 9.80 * 0.029 * 0.70 * 0.002 = 4.27N$$

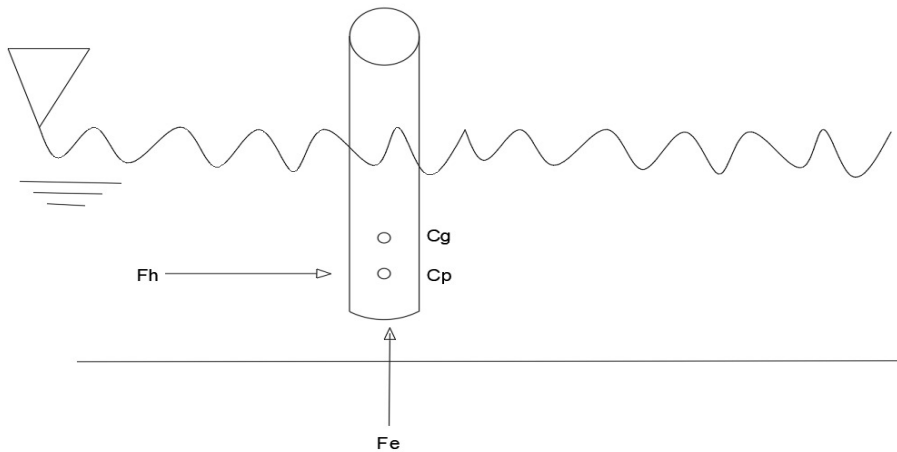


Figura 2. 6 Diagrama de cuerpo libre de la pala sometida a la fuerza de empuje que el líquido efectúa sobre ella. [Elaboración propia]

Para lograra conocer la magnitud de masa que tiene el fluido podemos hacer uso de la ecuación (2.17)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.17)$$

$$m = \rho V$$

$$m = 48 \text{ kg}$$

Se calcula la fuerza que el fluido realiza sobre las palas mediante la ecuación (2.18)

$$\sum M = I\alpha + Rmv - Rmv_o \quad (2.18)$$

$$FR = Rmv$$

$$F = 9.6N$$

La ecuación (2.18) se reduce por las condiciones de entrada la aceleración angular es nula por el motivo que las palas giran a velocidad angular constante. La velocidad inicial es nula y mediante este cálculo se conoce la fuerza que está recibiendo las palas, por motivo que el agua se opone al movimiento.

2.6.6 Cálculo de las recciones sobre el eje

El eje estará en los extremos de la piscina sujetados mediante dos chumaceras el cual presenta dos reacciones en dichos extremos, como se observa en los siguientes cálculos.

Se hará un análisis de las fuerzas que actúan en el eje en dos planos tanto en el plano "Y-Z" Y "X-Z" para lograr conocer todas las fuerzas en la cual estará sometido el eje para proceder hacer el dimensionamiento adecuado.

La representación gráfica de la figura 2.7 representa al eje en el plano Y-Z como se observa se tiene una carga distribuida de 75 cm de longitud transversal del eje cuando el fluido ejerce una fuerza de empuje sobre las palas y esta fuerza se puede modelar de la misma forma en el eje. Esto ocurre en el momento que las palas intentan mover el fluido y se lo representa de manera estática como se observa en la siguiente figura

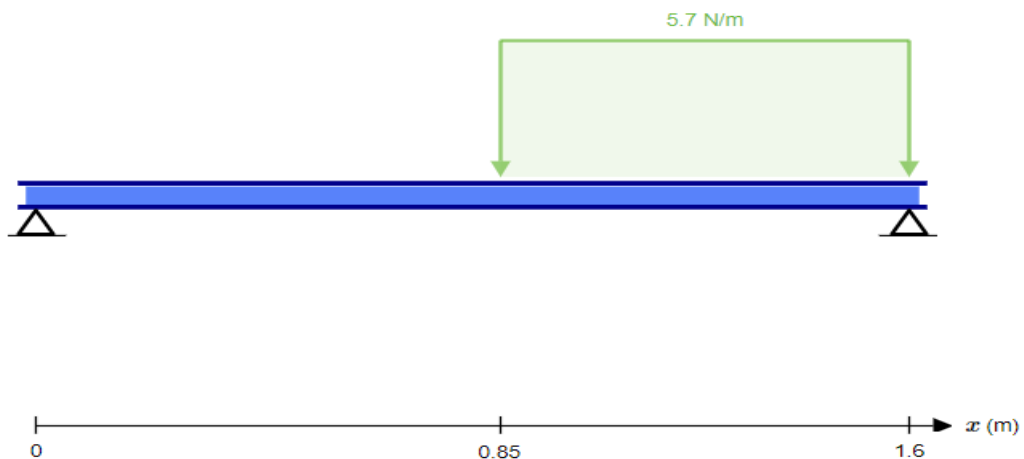


Figura 2. 7 Representación de la viga sometida a una fuerza distribuida y apoyada en los extremos por dos chumaceras en el plano Y-Z. [Elaboración propia]

Mediante la figura 2.7 se determina las reacciones de los extremos del eje aplicando sumatorias de momentos en un punto y sumatorias de fuerzas como se observa en los siguientes cálculos.

$$\begin{aligned}\sum M_a &= 0 \\ 1.225f_i + 1.6B_y &= 0 \\ B_y &= \frac{-1.225 * 4.27}{1.6} = -3.27[N]\end{aligned}$$

$$B_y = -3.27$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + f_i + B_y = 0$$

$$A_y + 4.27 - 3.27 = 0$$

$$A_y = -1[N]$$

La representación gráfica de la figura 2.8 representa al eje en el plano X-Z como se observa se tiene una carga distribuida de 75 cm de longitud transversal del eje cuando el fluido ejerce dicha fuerza sobre el eje. Esto ocurre en el momento que las palas intentan mover el fluido y el fluido ejerce una fuerza de oposición.

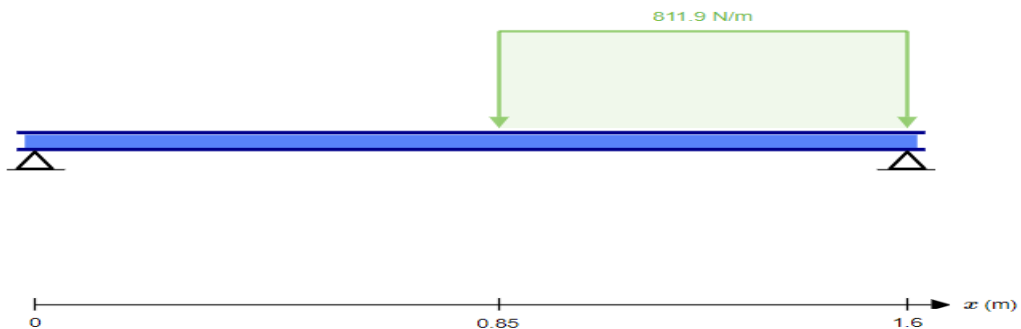


Figura 2. 8 Representación de la viga sometida a una fuerza distribuida y apoyada en los extremos por dos chumaceras en el plano X-Z. [Elaboración propia]

A partir de la figura 2.8 se determina las reacciones de los extremos del eje aplicando sumatorias de momentos en un punto y sumatorias de fuerzas como se observa en los siguientes cálculos.

$$\sum M_a = 0$$

$$1.225F_{paletas} + 1.6B_x = 0$$

$$B_x = \frac{1.225 * 608.9}{1.6} = 466.19[N]$$

$$B_x = -3.27$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_x - F_{paletas} + B_x = 0$$

$$A_x - 608.9 + 466.19 = 0$$

$$A_x = 142.71[N]$$

2.6.7 Cálculo del punto crítico al cual está sometido el eje

Una vez obtenidas las respectivas fuerzas por la cual está sometido el eje en el plano Y-Z se procede a realizar los diagramas de fuerza cortante vs longitud como lo indica la figura 2.9 y el diagrama de momento flector vs longitud como lo indica la figura 2.10

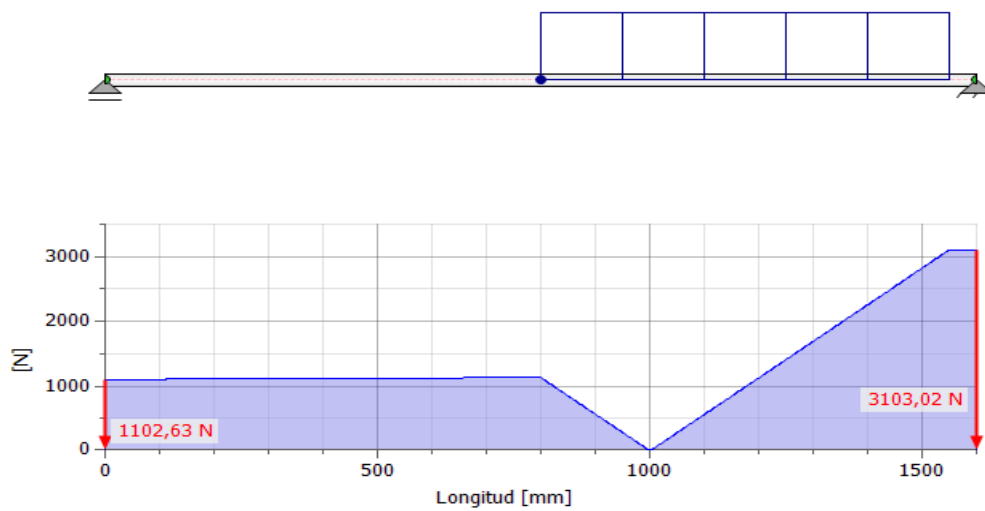


Figura 2. 9 Diagrama de fuerza cortante. [Elaboración propia]

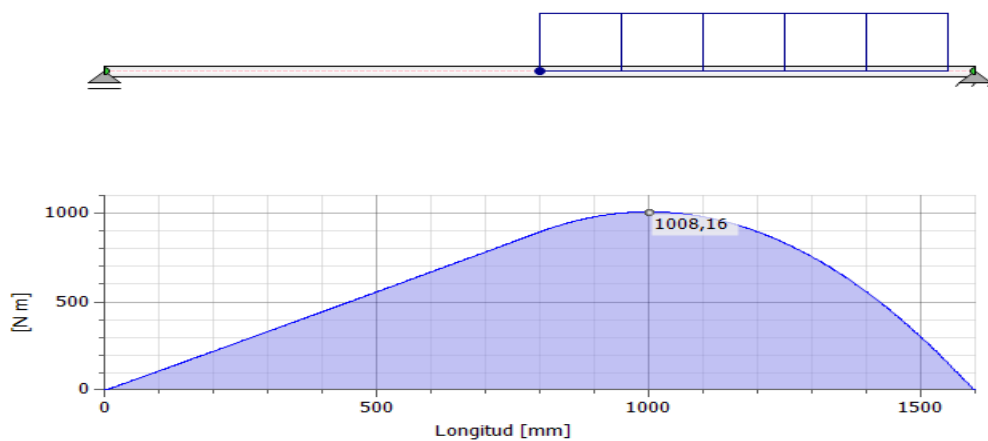


Figura 2. 10 Diagrama de momento flector. [Elaboración propia]

Una vez obtenidas las respectivas fuerzas por la cual está sometido el eje en el plano X-Z se procede a realizar los diagramas de fuerza cortante vs longitud como lo indica la figura 2.11 y el diagrama de momento flector vs longitud como lo indica la figura 2.12

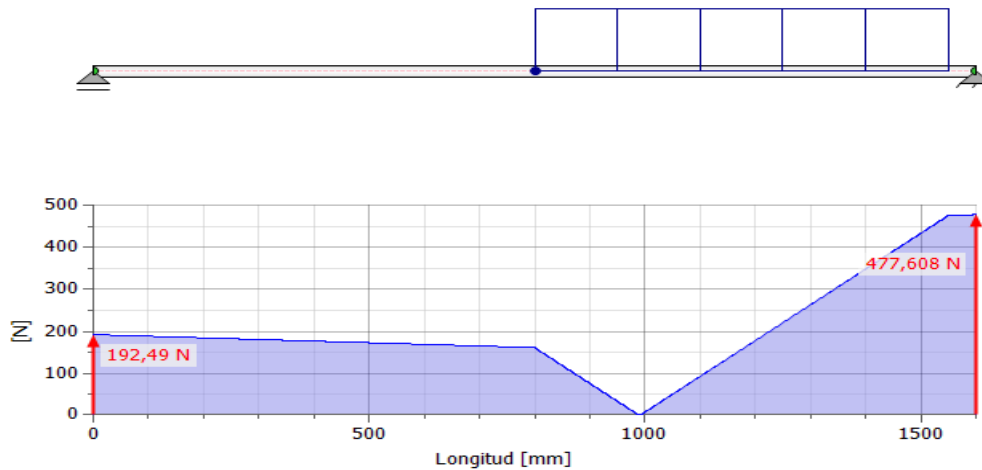


Figura 2. 11 Diagrama de fuerza cortante. [Elaboración propia]

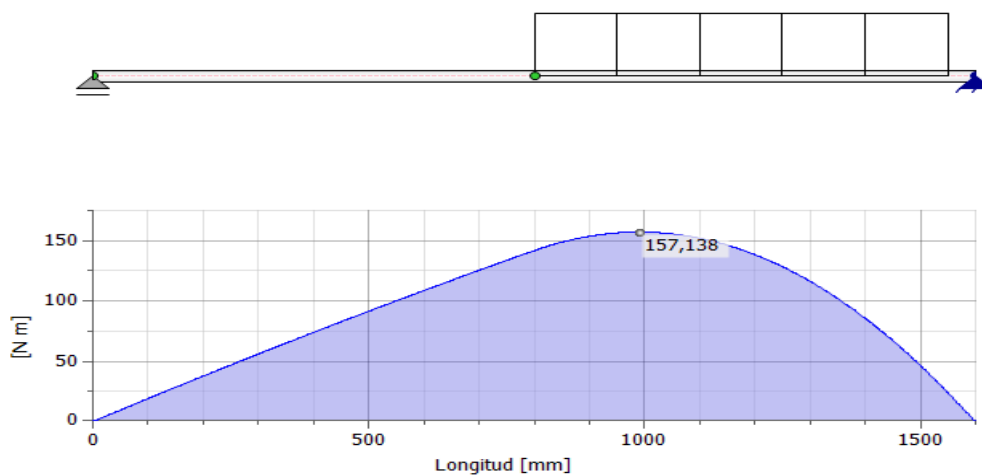


Figura 2. 12 Diagrama de momento flector. [Elaboración propia]

Ya conociendo los diagramas de fuerza cortante y momento flector del eje se procede hacer el respectivo calculo del momento máximo. El punto critico que esta sometida el

eje es en donde existe el máximo momento flecto, mediante las graficas anteriores podemos observar que el punto critico se encuentra en aproximadamente 1,026 m.

$$M_{max} = \sqrt{(M_{Y-Z})^2 + (M_{X-Z})^2} \quad (2.19)$$

$$M_{max} = 133.9Nm$$

2.6.8 Diseño del eje

Mediante la Ecuación (2.19) se procede hacer el cálculo del momento máximo flector para proceder hacer el respectivo diseño del eje, el cual dicho diseño se lo realizara mediante un diseño de fatiga, ya que debido a las cargas en las cuales se está sometiendo el eje se puede modelar al eje como un eje sometido a un esfuerzo reversible como se puede observar la Figura 2.13 , donde dichas características de un elemento sometido a un esfuerzo reversibles son los siguientes.

- $\sigma_a \neq 0$
- $\sigma_m = 0$
- $\tau_a = 0$
- $\tau_m \neq 0$

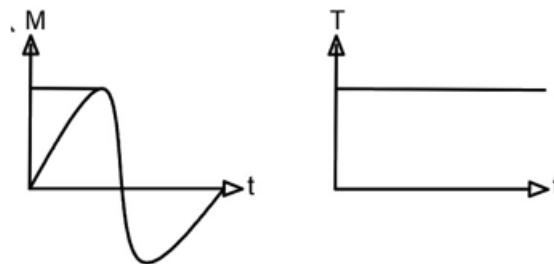


Figura 2. 13 Representación gráfica del comportamiento de un elemento sometido a esfuerzo reversible. [Elaboración propia]

Ahora se procede hacer los cálculos respectivos mediante un análisis por fatiga.

Se procede hacer el análisis de los respectivos factores que están presente en el análisis por fatiga (Norton, 2011)

- Temperatura; $C_{temperatura} = 1$
- Carga; $C_{carga} = 1$ (*flexion*)
- Confiabilidad; $C_{confiabilidad} = 0.897$ (90%)
- Superficie; $C_{superficie} = 0.65$ (*rolado en caliente*)
- Tamaño; $C_{tamano} = 1$ (*asuncion*)

El material del eje a utilizar mediante la Tabla 2.3 fue seleccionado el acero inoxidable (Norton, 2011)

Las propiedades del acero inoxidable AISI 304 es:

- $S_{ut} = 520 \text{ MPa}$
- $S_y = 220 \text{ MPa}$
- $S_f = 0.5 S_{ut} = 260 \text{ MPa}$

Se procede a realizar el calculo de la resistencia a la fatiga mediante la ecuación (2.20)

$$S_e = S_{superficie} * S_{tamano} * S_{temperatura} * S_{carga} * S_{confiabilidad} * S_f \quad (2.20)$$

Conociendo el valor de la resistencia a la fatiga se procede a calcular los concentradores de esfuerzo debido a la fatiga. Donde:

- $k_{fm} = k_{fs} = 1$
- $k_{fsm} = k_{tsm} = 1$

Se asume estos concentradores de esfuerzo debido a que el eje no muestra un cambio de sección alguno, no presenta algún chavetero o eslabón. Asumiendo estos concentradores de esfuerzo se logrará obtener un eje mas robusto y se logrará obtener un optimo diseño.

Conociendo los valores calculados anteriormente y asumiendo un factor de seguridad debido a la fatiga de 1.5 se procede a realizar el calculo del eje mediante la ecuación de Goodman como lo muestra la ecuación (2.21)

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(k_f M_a)^2 + \frac{3}{4}(k_{fs} T_a)^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{(k_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4}(k_{fsm} T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (2.21)$$

$$d = 25 \text{ cm}$$

2.6.9 Selección de la chumacera para el eje

El eje estará apoyado en los extremos de la piscina mediante dos chumaceras de piso la chumacera a utilizar es una chumacera tipo puente con banda de goma.

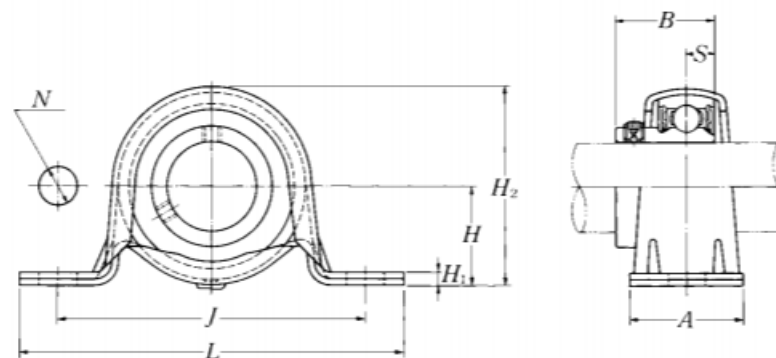


Figura 2. 14 Chumacera.

Las características de la chumacera fueron seleccionadas mediante el diámetro del eje, la preferencia de este tipo de chumaceras con rodamientos de bolas es por la baja carga a la cual estará sometido el eje. La chumacera para utilizar será una ASPP205 con una serie de rodamiento AS205.

2.6.10 Selección de las bandas y poleas para el sistema de potencia

Debido a que el motorreductor a utilizar entrega 43,53 rpm, y, para nuestro objetivo de diseño necesitamos una velocidad angular de 18 rpm. Por lo tanto, se procede a realizar

un sistema de bandas y poleas, logrando de esta manera reducir las revoluciones y poder adaptar este motorreductor a la aplicación del sistema de agitación tipo raceway.

Posteriormente se procede a determinar la potencia de diseño con el cual va a operar el sistema, utilizando la ecuación (2.22)

$$P_{diseño} = P * F_{servicio} \quad (2.22)$$

El factor de servicio se lo conoce mediante la figura que se encuentra en APENDICE B 1 en el cual se lo selecciono mediante la aplicación a la cual va a ser sometido dicho diseño, en nuestro caso son motores eléctricos para la aplicación de agitadores de líquidos, se seleccionó un servicio continuo para una buena selección de transmisión. Donde dicho factor de servicio es 1.3

$$P_{diseño} = 0.5HP * 1.3 = 0.65 HP$$

Se procede a realizar la selección de las bandas a utilizar mediante la figura que se adjunta en anexos. Donde dicha selección se la realiza mediante la potencia de diseño vs factor de servicio. Donde nuestra selección cae en una banda 3V o 3VX, donde seleccionamos la banda 3VX donde dicha banda es una banda dentada, la elección de trabajar con una tabla de alta capacidad fue por el motivo que dichas bandas soportan mas cargas

Ahora se procede a encontrar los diámetros de las poleas a utilizar según las bandas que fueron seleccionadas, para dicha selección necesitamos conocer la relación de velocidad que deseamos tener en dicho mecanismo. La relación de velocidades se la puede calcular mediante la ecuación (2.23)

$$R_{velocidad} = \frac{\text{velocidad angular del motor}}{\text{velocidad angular deseada}} \quad (2.23)$$

$$R_{velocidad} = \frac{45 \text{ rpm}}{18 \text{ rpm}} = 2.5$$

Donde dichos diámetros seleccionados en la tabla que se adjunta en anexos fueron 6.90 mm y 2.80 mm

2.6.11 Diseño de la junta empernada del motor

Debido a la vibración que genera el motorreductor se procedió hacer una junta empernada en la base a la cual el motorreductor estará apoyado para operar.

El peso del motor será despreciable en comparación con la fuerza que estará efectuando las poleas, dicha junta empernada será diseñada a una carga estática y a cortante puro.

Se procede a calcular la fuerza que ejerce las poleas como se muestra en la figura 2.15

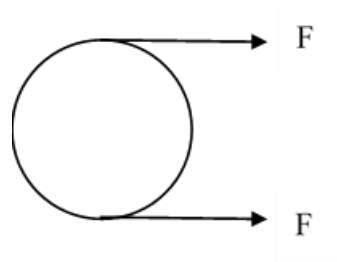


Figura 2. 15 DCL de la polea. [Elaboración propia]

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

$$F * r = \frac{P}{\omega}$$

$$F = \frac{P}{\omega * r}$$

$$F = \frac{0.5 * 746}{18 \left(\frac{2\pi}{60} \right) * 0.07}$$

$$F = 2826.9 \text{ N}$$

Se procede hacer el calculo de la fuerza primaria mediante la siguiente ecuación (2.24)

$$F' = \frac{2F}{n} \quad (2.24)$$

$$F' = 1413.44 \text{ [N]}$$

Se procede hacer el calculo de la fuerza secundaria mediante la siguiente ecuación (2.25)

$$F'' = \frac{2F * (B + AC) * r_n}{\sum r^2} \quad (2.25)$$

Donde los valores de B A y C se los puede conocer mediante el frame del motor seleccionado

$$F'' = \frac{(2826.895)(0.70) * 0.07}{4(0.07^2)}$$

$$F'' = 7067.3N$$

$$\vec{F} = F'' \text{sen}(60.59)i + (F' + F''\text{cos}(60.59))j$$

$$\vec{F} = 6156.5i + 4883.9j [N]$$

$$F = 7858.45 N$$

El Factor de seguridad por cortante se lo procede a calcular mediante la ecuación

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad (2.26)$$

Si procedió a seleccionar los pernos donde la selección fueron los M36 ISO 12.9

El esfuerzo cortante se lo calcula mediante la ecuación (2.27)

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.27)$$

$$\tau = \frac{7858.45}{\frac{\pi * 0.036^2}{4}}$$

$$\tau = 7.72 MPa$$

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0.5S_{ut}}{\tau}$$

$$n = \frac{0.5 * 179MPa}{7.72MPa}$$

$$n = 11.6$$

Mediante el resultado del factor de seguridad podemos concluir que la selección de los pernos son los correctos.

Al finalizar la selección se realizó el cálculo por aplastamiento para comprobar el cálculo anterior y asegurar que la selección de los pernos y el espesor de la placa será el adecuado, se elige el material Acero 1010 en caliente $S_y = 324$ MPa. Donde se procede a calcular el esfuerzo por aplastamiento mediante la ecuación (2.28) y luego el factor de seguridad por aplastamiento mediante la ecuación (2.29)

$$\sigma_{ap} = \frac{F}{e * d} \quad (2.28)$$

$$\sigma_{ap} = \frac{7858.45}{0.03 * 0.036}$$

$$\sigma_{ap} = 7.27 MPa$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{ap}} \quad (2.29)$$

$$n = \frac{324MPa}{7.27MPa}$$

$$n = 44.5$$

Para un espesor de 3 cm de la placa se obtiene un factor de seguridad por aplastamiento de 44.5, donde se logra concluir que el diseño de la junta emperrada es adecuado para esta aplicación

CAPITULO 3

3. ANALISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentarán los resultados de las variables y restricciones de diseño requeridos por la Universidad Estatal de Guayaquil Facultad de Ciencias Naturales para la implementación del sistema Raceway Ponds, obteniendo el correcto dimensionamiento de los elementos que conforman dicho sistema.

Se logrará mostrar en esta sección el diseño final, y el prototipo construido para dichas pruebas de operación, se presenta la simulación del sistema de agitación raceway. Además, se procederá a presentar el costo que genero poder llevar a cabo dicho proyecto, donde se va a detallar los materiales, equipos, mano de obra y los viáticos que se utilizó, con el propósito de evaluar el presupuesto requerido para realizar un estudio y poder generar una proyección en implementar dicho proyecto como alguna actividad comercial en un futuro

3.1 Modelo final del Reactor

Para dimensionamiento correcto de la Piscina se siguió la metodología de (Sompech, 2012) que considera que el cociente entre el largo del canal y el ancho debe tener un valor de 10 o 20 dependiendo la superficie de la piscina, obteniendo como resultado los valores mostrados en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Dimensiones de la Piscina. [Elaboración propia]

Dimensionamiento de la Piscina		
Largo	Ancho	Profundidad
3,30 m	1,60 metros	60 cm



Figura 3. 1 Dimensiones de la Piscina. [Universidad Estatal, 2019]

3.2 Modelo final del Motorreductor

Para la selección del motorreductor se realizó el cálculo de Potencia necesaria para el sistema tomando en cuenta las perdidas por rozamiento en la piscina, caudal y eficiencia; obteniendo como resultado de potencia del motor y la relación de reducción que se mostrará en la tabla 3.2

Tabla 3.2 Especificaciones del Motorreductor. [Elaboración propia]

Motor	Marca	Potencia	Velocidad angular (Rpm)	Reductor	Marca	Relación de reducción
	Siemens	0.5 hp	1550		Rossi	35.6

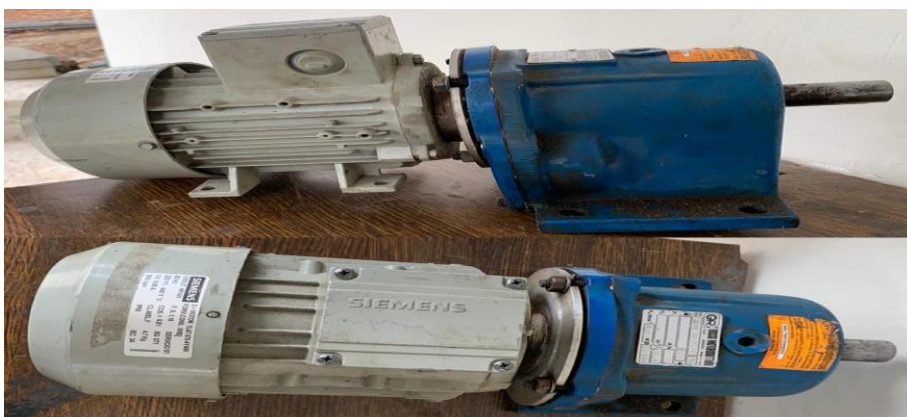


Figura 3. 2Especificaciones del Motorreductor. [Elaboración propia]

Con estas especificaciones del motorreductor se obtuvo una velocidad de salida de 43,53 rpm, el cual no cumple con la restricción de diseño que indica que la velocidad angular

de salida del motorreductor debe estar en un rango de 10-20 rpm. Usando un sistema de reducción de bandas y poleas como se muestra en la tabla 3.3

Tabla 3.3 Bandas y Poleas. [Elaboración propia]

Poleas simples de 1 canal		Bandas
Medidas	2,5 in y 6in	Bandas dentadas de 30 cm



Figura 3. 3 Bandas y Poleas. [Elaboración propia]

se logró reducir la velocidad angular, teniendo una relación de 2,4 en las poleas simples se logró obtener una velocidad de 18,13 rpm cumpliendo la restricción de diseño, estas poleas estarán ubicadas a 30 cm de distancia de centro a centro.

3.3 Modelo final del eje de transmisión

Mediante un análisis de fatiga se logró obtener el diámetro del eje debido a que este se encuentra sometido a esfuerzo reversible, obteniendo como resultado los siguientes valores que se muestran en la Tabla 3.4

Tabla 3.4 Eje Transmisión. [Elaboración propia]

Parámetros	Valores
Diámetro	25 mm
Longitud	1,80 metros
Material	Acero inoxidable AISI 304

3.4 Modelo final de los Agitadores de Paleta

Las dimensiones del agitador del sistema Raceway se lo obtuvo mediante el dimensionamiento del reactor y el nivel de agua al que estará funcionando dicho reactor, dejando una holgura de 2,5 cm para el alto de la paleta y 0,05 cm para el largo de la paleta obteniendo los siguientes valores que se muestran en la Tabla 3.5

Tabla 3.5 Dimensionamiento de las paletas. [Elaboración propia]

Dimensionamiento de las paletas	
Largo	0,75 m
Alto	0,395 m
Angulo	90°

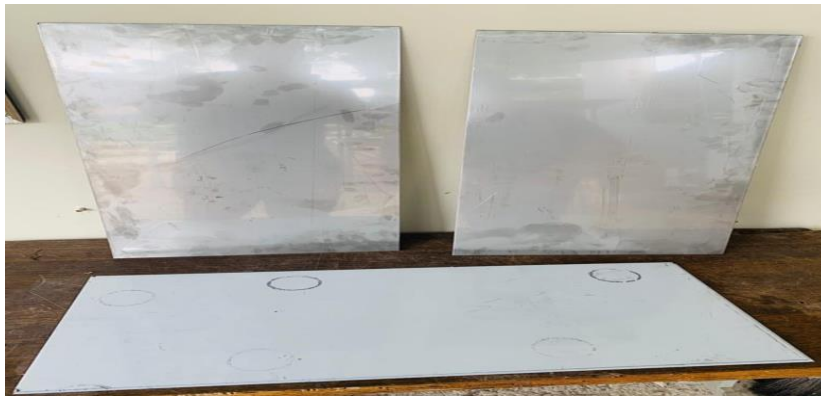


Figura 3. 4 Agitadores de Paleta. [Elaboración propia]

3.5 Chumacera

Las características de la chumacera fueron seleccionadas mediante el diámetro del eje, la preferencia de este tipo de chumaceras con rodamientos de bolas es por la baja carga a la cual estará sometido el eje. La chumacera para utilizar será una ASPP205.



Figura 3. 5 Chumacera. [Elaboración propia]

3.6 Construcción final del equipo

Una vez realizado un estudio profundo y los cálculos adecuados para realizar el diseño del sistema de agitación se procedió a realizar la construcción de dicho sistema.

3.6.1 Construcción del eje

Las dimensiones del eje fueron especificadas anteriormente en la Tabla 3.4 conociendo estas dimensiones se procedió a buscar un eje con dichas características, donde dicho eje fue perforado para poder acoplar las palas al eje mediante un tornillo prisionero.



Figura 3. 6 Perforación de eje. [Elaboración propia]

3.6.2 Construcción de las palas

Conociendo el material y las dimensiones de las palas como se las menciono en la Tabla 3.5 se procedió a cortar las planchas de acero inoxidable con las dimensiones antes dichas, una vez listas se procedió a soldar las palas a un tubo de acero inoxidable, para luego dicho tubo pueda ser acoplado al eje mediante un tornillo prisionero como se indicó anteriormente.



Figura 3. 7 Palas soldadas. [Elaboración propia]

3.6.3 Acople de las palas con el eje

Una vez que las palas estuvieron listas se procedió hacer el acople de las palas al eje mediante un prisionero como lo indica la Figura 3.8. El tubo de acero inoxidable fue donde las palas fueron soldadas.



Figura 3. 8 Acople de las palas con el eje. [Elaboración propia]

3.6.4 Selección del sistema de potencia

Una vez teniendo las especificaciones del motorreductor se procedió hacer el diseño del sistema de potencia, bandas y poleas como se lo indico en el capítulo 2. Donde las dimensiones de las poleas fueron mencionadas en la Tabla 3.3.para así poder entregarle al eje las revoluciones que el cliente solícito.

La polea de menor diámetro fue colocada en el eje del motorreductor y la siguiente polea fue colocada en el eje para así poder conectarlas entre sí por medio de una banda dentada con una distancia de 30 cm entre el centro de cada polea



Figura 3. 9 Sistema de potencia. [Elaboración propia]

3.6.5 Construcción de la base

La construcción de la base se realizó con acero A36 se utilizaron algunos ángulos y planchas de acero, se las soldaron entre sí para lograr el diseño adecuado en el cual va a hacer apoyado las chumaceras y el sistema de potencia, donde dicha base también fue diseñada una junta emperrada en donde el motorreductor va a ser apoyado, donde dicha junta emperrada fue diseñada en el capítulo 2.

Una vez construida la base se procedió a realizar el respectivo pintado, donde la primera capa se la realizó con una pintura prime y la segunda capa se le realizó con una pintura anticorrosiva



Figura 3. 10 Aplicación de pintura a la base. [Elaboración propia]

3.6.6 Montaje del equipo

Una vez que se realizó la selección y construcción de todos los elementos del sistema de agitación se procedió a realizar el respectivo montaje como se muestra en la figura 3.11.



Figura 3. 11 Montaje de los elementos. [Elaboración propia]

3.7 Resultados de la simulación del reactor tipo raceway

En la siguiente sección de este capítulo se presentará los respectivos gráficos de la simulación que se le realizó al reactor tipo raceway.

Para realizar el análisis estático del sistema se realizaron los siguientes pasos:

- **Material:** la selección del material para cada pieza del sistema juega un papel elemental en el cual se podrá corroborar las propiedades mecánicas del material como es el; módulo elástico, coeficiente de Poisson y el límite elástico, siendo estas las características más importantes para poder comenzar nuestra simulación. En nuestra simulación los materiales que se usaron fueron; acero inoxidable para el eje y las aspas; fibra de vidrio para la piscina y acero negro para la estructura.

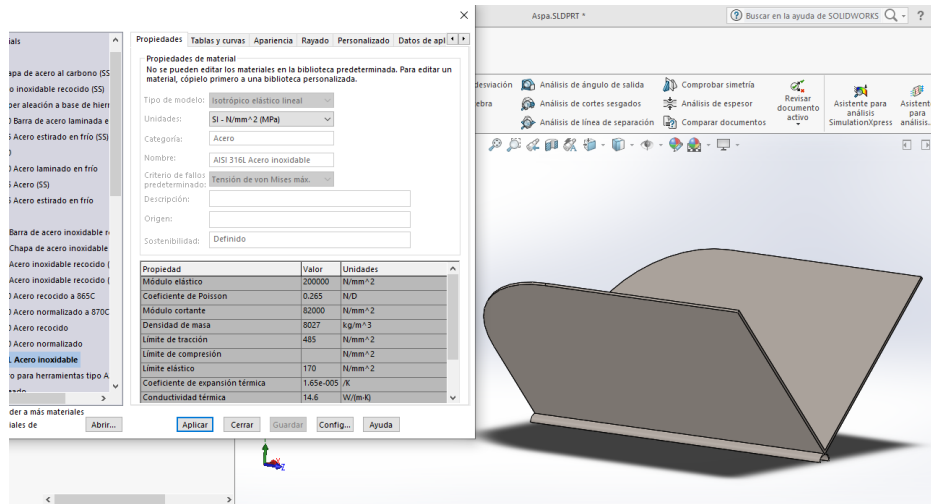


Figura 3. 12 Propiedades del acero inoxidable. [Elaboración propia]

- Condiciones: una vez designado el material se procede analizar las condiciones que implican las fuerzas que se van a aplicar sobre el sistema de igual manera como va a estar fijado nuestro sistema. Las fuerzas que se designaron fueron la fuerza de arrastre que ejercerá la paleta al agua cuando esta se encuentra totalmente sumergida formando un ángulo de 90 grados con el plano medio de eje obteniendo un valor de 137.86 Newton y las fuerzas de reacción que sufrirán las chumaceras a lo largo del movimiento de las aspas siendo de 466.22 Newton y 142.71 N.

Como es un análisis estático se designó como punto fijo la superficie de la piscina y el eje.

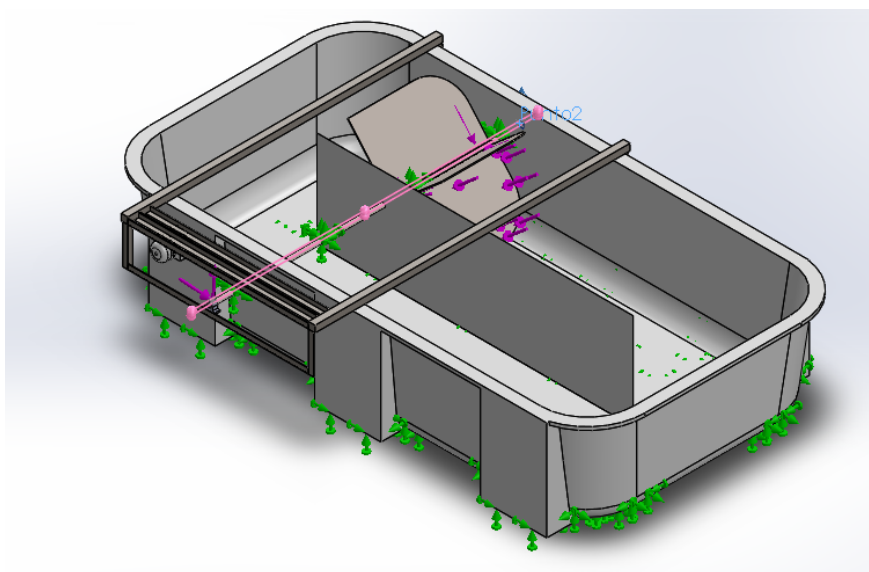


Figura 3. 13 Fuerzas aplicada en el sistema. [Elaboración propia]

- **Mallado:** Permite definir la precisión del análisis de la estructura, definiendo el número de elementos que se tendrá en el sistema. Debido a que en nuestro sistema los espesores de las aspas con la estructura son diferentes; aspas de 2mm y estructura 3 mm. Se realizó un control de mallado el cual consistió en definir el espesor del mallado para cada elemento.

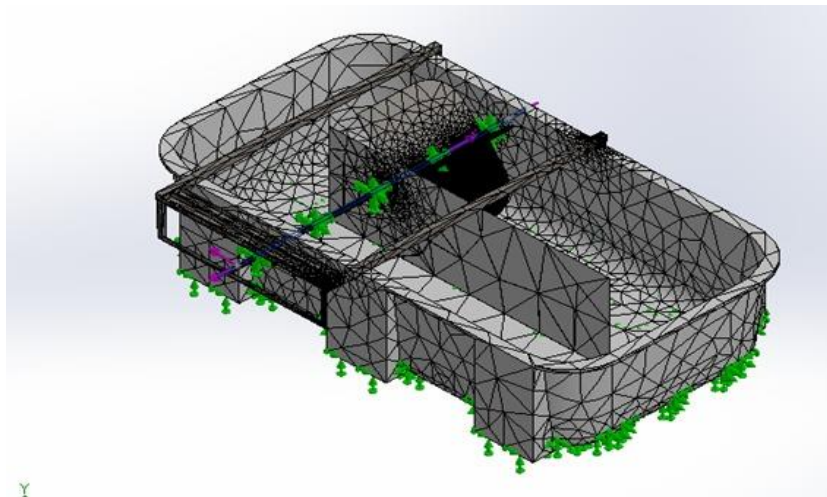


Figura 3. 14 Control de Mallado del reactor. [Elaboración propia]

- **Análisis:** el software realiza iteraciones a lo largo del mallado definido y donde se evidencia la diferencia entre el mallado grueso y fino. El mallado fino al tener que iterar más elementos que el mallado grueso, por ende, tardará más en generar los resultados.
- **Resultado:** obtendremos el esfuerzo de Von mises, siendo la tensión máxima permitida por el material, esta tensión nos indica que; un material sufrirá un fallo elástico cuando la energía de distorsión rebase cierto valor y esto se obtiene de la siguiente manera:

1) En el sistema el punto crítico será en la superficie de la pala con el eje cuando la pala forma un ángulo de 90 grados con el plano medio del eje, debido a que la fuerza de arrastre será la máxima obteniendo un valor de $9.319 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ como tensión máxima permisible o esfuerzo de fluencia, y el material que se definió para esta sección es el acero inoxidable teniendo un valor de esfuerzo de fluencia de 235 MPa, se puede obtener el factor de seguridad de este sistema de la siguiente manera:

$$n = \frac{\text{esfuerzo fluencia del material}}{\text{esfuerzo de fluencia de von mises}} = \frac{235 \times 10^6}{9.319 \times 10^7} = 2.52$$

2) El factor de seguridad debe ser mayor a 1, lo cual, para este caso fue de 2.52

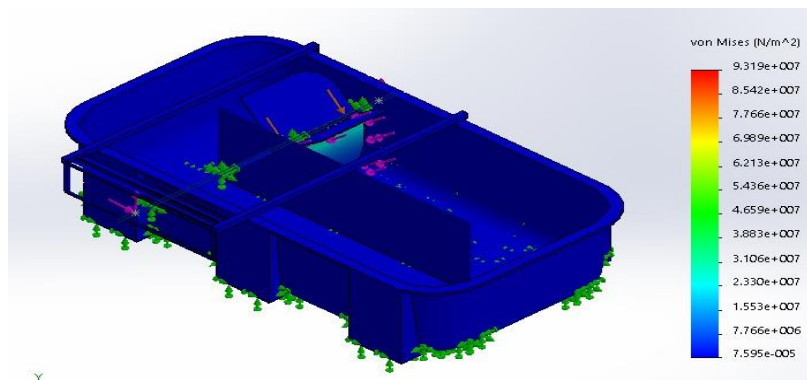


Figura 3. 15 Análisis estático del reactor (Von Mises). [Elaboración propia]

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECONMEDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La construcción del sistema de agitación Raceway Ponds para la aplicación de movimientos de microalgas fue diseñada con éxito e implementada de una manera exitosa respetando todos los requerimientos del cliente y efectuando todos los objetivos específicos

El sistema de agitación consta de palas de acero inoxidable para evitar que el material se degrade o presente algún tipo de corrosión o fallo en corto tiempo.

Como mecanismo de potencia para estos equipos de agitación, el sistema de transmisión de potencia mediante bandas y poleas fue una de las mejores opciones para la reducción de la velocidad angular del motorreductor, por razones que las microalgas necesitan ser agitadas en un rango de 10 a 20 revoluciones por minuto caso contrario pueden romper las estructuras moleculares de las microalgas eliminando complemente la cosecha de biomasa.

En los resultados de la simulación se obtuvo un factor de seguridad del 2.52% garantizando que el diseño del sistema no fallará, esto se debe a que la tensión máxima a la fluencia que se ejercerá sobre el eje es de 93.19 MPa el cual es pequeño a comparación a la máxima tensión a la fluencia del acero inoxidable siendo esta de 235 MPa .

El agitador que se usó es de paletas con un ángulo de 90 grados de separación, estas se caracterizan por girar a revoluciones pequeñas garantizando la eficiencia de nuestro sistema, el cual fue diseñado para girar a 18 rpm cumpliendo con las restricciones de diseño y asegurando la buena oxigenación del sistema para así optimizar la generación de biomasa algal.

Con el fin de abaratar costos en la construcción del equipo de laboratorio, la base fue realizada con acero A36, para evitar vibraciones en la estructura debido a que el terreno donde se encuentra localizada la piscina de microalgas es irregular.

A partir de las pruebas realizadas al equipo de laboratorio se pudo constatar que el sistema de agitación mantiene el flujo laminar constante del fluido (agua y microalgas) con una velocidad de 0.2 m/s, a través de ello se garantiza que el fotobioreactor tipo Raceway Ponds, mantendrá un cultivo intensivo de microalgas para la generación óptima de biomasa algal.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir las normas estándares para estos tipos de reactores al momento de elaborar las piscinas en la cual el sistema de agitación operará, respetando las relaciones entre largo y ancho de la piscina
- Se recomienda para una manipulación de los RPM en el sistema de agitación trabajar con un motor paso a paso, donde se puede manipular la cantidad de revoluciones que desea que las aspas giren.
- Se recomienda realizar una caja de protección al motor para que no esté expuesto al medio.
- Se recomienda pintar la base cada cierto tiempo con una pintura anticorrosiva por el motivo en el cual la base estará expuesta a cambios de clima y contacto en ciertas ocasiones con líquidos
- Se recomienda para una futura construcción hacer un estudio adecuado de algún plástico que pueda sustituir al acero inoxidable en las aspas, con la finalidad de abaratar costos de construcción.

BIBLIOGRAFIA

Agro, A. (junio de 2016). *Cultivos de microalgas a gran escala: Sistemas de produccion*

Andrés Felipe Trujillo Bustos, C. G. (29 de Marzo de 2011). *CLASIFICACION Y APLICACIÓN DE LAS POLEAS Y PALANCAS*. Obtenido de <https://pipelon0225.files.wordpress.com/2011/02/trabajo-poleas-y-palancas.pdf>

Arco, R. T.-A. (2016). Control de un motor de pasos utilizando un micro y un dsp. Mexico: Universidad autonoma de Mexico .

C.V, E. c. (2016). *Energía controlada de Mexico S.A. de C.V.* Obtenido de <https://www.energiaccontrolada.com/faq/Que-es-un-motorreductor>

Céspedes, A. G. (Octubre de 2015). *Fundación Cajamarca- Grupo Cooperativo Cajamarca*. Obtenido de <https://www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/investigacion/documentos-y-programas/microalgas-1444391623.pdf>

Céspedes, A. M. (6 de 2016). *CULTIVOS DE MICROALGAS A GRAN ESCALA: SISTEMAS DE PRODUCCIÓN*. Obtenido de <https://www.cajamar.es/pdf/bd/agroalimentario/innovacion/formacion/actividades-de-transferencia/018-microalgas2-1467367279.pdf>

Colcha, M. (s.f.). *Slideshare*. Obtenido de Bandas (Correa) de Transmisión: <https://es.slideshare.net/MARTHYTAS/bandas-de-transmision>

GmbH, B. I. (s.f.). *Laborbedarf Bochem Lab Supply*. Obtenido de <http://www.bochem.com/es/Informaci%C3%B3n+%C3%BAtil/Tipos+de+agitadores.html>

Hernandez, L. A. (2016). *crecimiento de Cryptophyta empleando vinazas cubanas como medio de cultivos* . Santa Clara.

Jones, P. S. (5 de Septiembre de 2014). *¿Moving algae the key to renewable oil production? University of Cape Town*. Obtenido de <https://www.news.uct.ac.za/article/-2014-09-05-moving-algae-the-key-to-renewable-oil-production>

- Juan Roberto Benavente Valdés, J. C. (21 de Junio de 2019). Microalgas, una innovadora fuente de colorantes. *CienciAcierta revista de divulgación científica, tecnológica y humanística*. Obtenido de <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/06/21/microalgas-una-innovadora-fuente-de-colorantes/>
- Labbé, A. H.-J. (2014). Microalgas, cultivos y beneficios . *Revista de biología marina y oceanografía* , 17.
- Manufacturing, T. C. (1964). *Taiwan Chlorella Manufacturing*. Obtenido de <http://www.taiwanchlorella.com/about01.php?id=3>
- Mecafenix, I. (2019). *Ingeniera Mecafenix*.
- Microalgae, N. (Octubre de 2010). Obtenido de <http://nordicmicroalgae.org/about>
- Norton, R. L. (2011). *Diseno de maquinas* . Naucalpan de juarez : Pearson.
- Oporto, C. N. (s.f.). *Mecanismo (SISTEMA DE POLEAS CON CORREA)* . Obtenido de <https://sites.google.com/a/nazaretoporto.org/me/mecanismos-de-transmision-circular/sistema-de-poleas-con-correa>
- Oro, M. (21 de Agosto de 2014). *Prezi*. Obtenido de <https://prezi.com/eokd3z0sda2j/bandas-y-poleas/>
- QUE ES DEFINICIÓN, C. Y. (2017). *QUE ES DEFINICIÓN, CONCEPTO Y APLICACIÓN*. Obtenido de <http://quees.jmactualidades.com/que-es-la-chumacera/>
- S.L., A. I. (Diciembre de 2013). *Aplicaciones de las microalgas: Estado de la tecnica*.
- SANTIAGO, I. I. (junio de 2017). *Universidad de Cadiz*.
- Sompech, K. C. (2012). Design of raceway ponds for producing microalgae. doi:<https://doi.org/10.4155/bfs.12.39>
- Vasquez, V. A. (2009). *Diseño de una transmision de potencia entre bomba y motor para bombeo de lodo*. Piura: PIRHUA.
- Zaragoza, Y. G. (La Habana, 2001). Diseño y construcción de un prototipo de incubadora controlada por lógica difusa. *Memorias II Congreso Latinoamericano de ingeniería Biomédica*.

APENDICE

APENDICE A

CONSTRUCCION Y PRUEBA DEL EQUIPO



APENDICE A. 1 Corte de la plancha de acero inoxidable. [Elaboración propia]



APENDICE A. 2 Perforación del eje para ubicar un prisionero. [Elaboración propia]



APENDICE A. 3 Elaboración de las aspas . [Elaboración propia]



APENDICE A. 4 Modelo final de las aspas. [Elaboración propia]



APENDICE A. 5 Modelo final de la base estática. [Elaboración propia]



APENDICE A. 6 Aplicación de pintura anticorrosiva a la base. [Elaboración propia]



APENDICE A. 7 Ubicación del eje en las aspas. [Elaboración propia]



APENDICE A. 8 Montaje del sistema de potencia. [Elaboración propia]

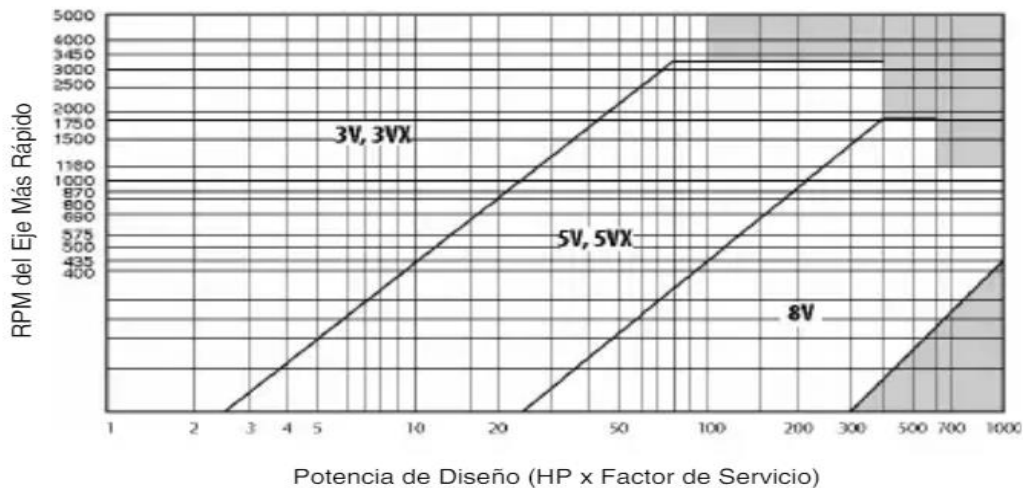


APENDICE A. 9 Montaje del sistema de agitación. [Elaboración propia]

APENDICE B

FACTORES DE SERVICIOS TÍPICOS														
TIPOS DE MÁQUINAS DE TRANSMISIÓN	TIPOS DE UNIDADES MOTRICES													
<p>Los tipos de máquinas impulsadas aquí listadas son solo una muestra representativa. Seleccione el equipo que se aproxime más a su aplicación.</p> <p>SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">Rueda Loca en el lado suelto (afuero)</td> <td style="border: none;">Ninguno</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Rueda Loca en el lado suelto (afuera)</td> <td style="border: none;">0.1</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Rueda Loca en el lado apretado (adentro)</td> <td style="border: none;">0.1</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Rueda Loca en el lado apretado (afuera)</td> <td style="border: none;">0.2</td> </tr> </table>	Rueda Loca en el lado suelto (afuero)	Ninguno	Rueda Loca en el lado suelto (afuera)	0.1	Rueda Loca en el lado apretado (adentro)	0.1	Rueda Loca en el lado apretado (afuera)	0.2	<p>MOTORES ELÉCTRICOS AC Torque Normal Jaula de Ardilla y Sincrono AC Fase Dividida DC Devanado en Derivación Motores de Combustión Interna</p>			<p>MOTORES ELÉCTRICOS AC Alto Torque AC Hi-Fase Dividida AC Repulsión-Inducción AC Monofásico Devanado en Serie AC Anillo de Deslizamiento DC Devanado Compuesto</p>		
Rueda Loca en el lado suelto (afuero)	Ninguno													
Rueda Loca en el lado suelto (afuera)	0.1													
Rueda Loca en el lado apretado (adentro)	0.1													
Rueda Loca en el lado apretado (afuera)	0.2													
	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO								
Agitadores para Líquidos Sopladores y Aspiradoras Bombas centrífugas y Compresoras Ventiladores hasta 10 HP Transportadores de Trabajo Ligero	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3								
Transportadores de Banda para arena, grano, etc. Amasadora Ventiladores de más de 10 HP Generadores Ejes de Línea Máquinas de Lavandería Máquinas-Herramientas Taladros, Prensas, Cortadores Máquinas de Imprenta Bombas Rotatorias de Desplazamiento Positivo Cribas Giratorias y Vibratorias	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4								
Máquinas para Ladrillos Elevadores de Cangilones Excitadores Compresores de Pistones Transportadores (Pastras, Helicoidales, Tabillas) Molinos de Martillos Hidropulper Bombas de Pistones Sopladores de Desplazamiento Positivo Pulverizadores Máquinas para Madera y Sierras Maquinaria Textil	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6								
Quebradoras (Giratorias-Mordaza-Rodillos) Molinos (Bolas, Rodillos) Grúas Calandrias de hule — Extrusoras — Molinos	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6								
Equipo con Ahogador	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0								

APENDICE B 1 Factores de servicios [Martin, 2019]



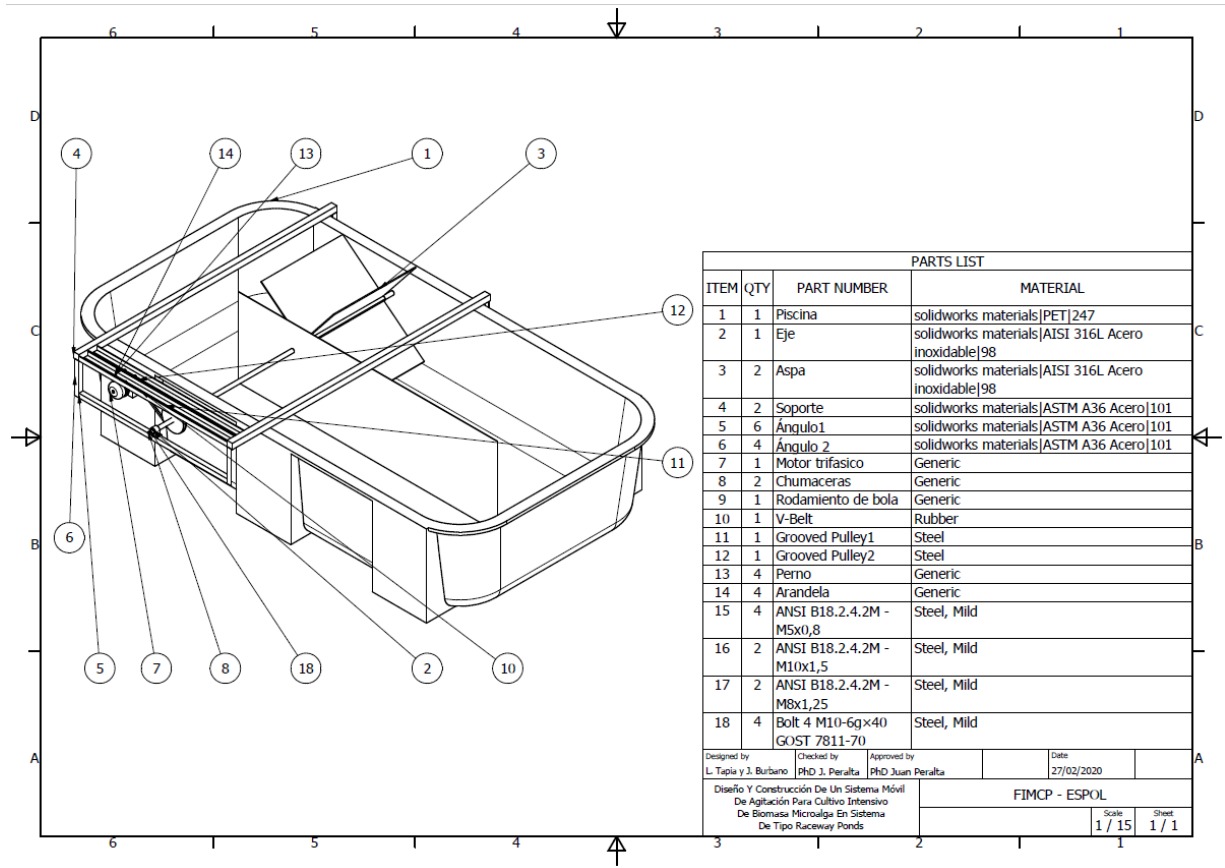
APENDICE B 2 Selección de bandas. [Martin, 2019]

3V Selección de Transmisión en Existencia

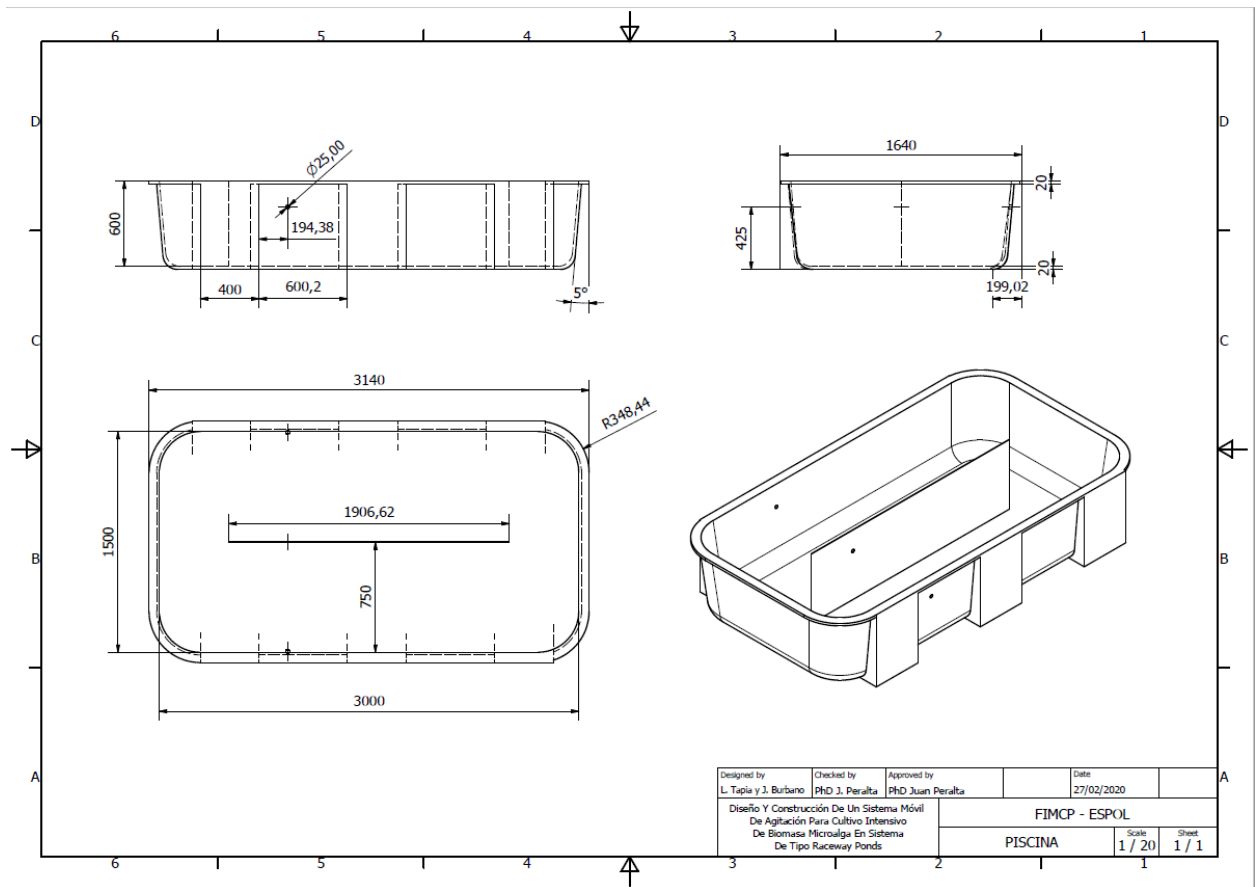
Relación de Velocidad	Combinación de Poleas		Velocidades Impulsadas y HP por Banda								Distancia Nominal entre Centros y Factor de Corrección por Longitud y Arco							
			3500 RPM Motriz		1750 RPM Motriz		1150 RPM Motriz		870 RPM Motriz		Designación de Largo de Banda 3VX							
	Motriz D.E.	Impuls. D.E.	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	250	300	355	400	450	500	560	
1.92	3.15	6.00	1824	5.91	912	3.29	604	2.29	453	1.78	—	7.7	10.5	12.7	15.2	17.8	20.8	
1.93	2.35	4.50	1809	3.39	904	1.92	600	1.35	450	1.05	7.0	9.6	12.3	14.6	17.1	19.6	22.6	
1.95	3.35	6.50	1791	6.53	895	3.63	593	2.53	445	1.95	—	7.1	9.9	12.2	14.7	17.2	20.2	
1.95	4.12	8.00	1792	8.81	896	4.91	594	3.41	445	2.63	—	—	8.0	10.3	12.8	15.4	18.4	
2.01	5.30	10.60	1742	12.05	871	6.82	577	4.74	433	3.66	—	—	—	9.6	12.2	15.3	—	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.80	0.84	0.87	0.90	0.92	0.94	0.97	
2.02	2.50	5.00	1732	3.88	866	2.18	574	1.53	431	1.19	6.5	9.0	11.8	14.1	16.6	19.1	22.1	
2.02	2.65	5.30	1733	4.36	867	2.44	574	1.71	431	1.33	6.1	8.7	11.4	13.7	16.2	18.7	21.7	
2.02	2.80	5.60	1734	4.83	867	2.70	575	1.89	431	1.46	5.7	8.3	11.1	13.3	15.8	18.3	21.3	
2.02	3.00	6.00	1735	5.46	868	3.04	575	2.12	431	1.64	—	7.8	10.6	12.8	15.4	17.9	20.9	
2.04	2.35	4.75	1713	3.39	856	1.92	568	1.35	426	1.06	6.8	9.3	12.1	14.4	16.9	19.4	22.4	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.79	0.83	0.87	0.90	0.92	0.94	0.96	
2.04	6.90	14.00	1719	15.88	859	9.30	570	6.49	427	5.01	—	—	—	—	—	—	—	
2.07	2.20	4.50	1691	2.91	846	1.66	560	1.17	420	0.92	7.1	9.7	12.4	14.7	17.2	19.7	20.7	
2.08	3.15	6.50	1682	5.93	841	3.30	558	2.30	418	1.78	—	7.2	10.0	12.3	14.8	17.3	20.4	
2.08	3.35	6.90	1686	6.54	843	3.63	559	2.53	419	1.96	—	6.7	9.5	11.8	14.3	16.9	19.9	
2.13	2.65	5.60	1640	4.36	820	2.44	543	1.71	408	1.33	5.8	8.4	11.2	13.4	16.0	18.5	21.5	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.79	0.84	0.87	0.90	0.92	0.94	0.97	
2.13	5.00	10.60	1642	11.27	821	6.35	544	4.41	408	3.40	—	—	—	—	9.8	12.4	15.5	
2.14	2.50	5.30	1633	3.88	817	2.18	541	1.53	406	1.19	6.2	8.8	11.5	13.8	16.3	18.8	21.8	
2.15	2.35	5.00	1626	3.40	813	1.92	539	1.35	404	1.06	6.6	9.1	11.9	14.2	16.7	19.2	22.2	
2.16	2.80	6.00	1618	4.84	809	2.70	536	1.89	402	1.47	—	7.9	10.7	13.0	15.5	18.0	21.0	
2.16	6.50	14.00	1618	14.99	809	8.70	536	6.06	402	4.68	—	—	—	—	—	—	—	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.78	0.83	0.87	0.89	0.92	0.94	0.96	
2.19	2.20	4.75	1601	2.91	801	1.66	531	1.18	398	0.92	6.9	9.5	12.2	14.5	17.0	19.5	22.5	
2.19	3.00	6.50	1601	5.47	800	3.04	531	2.12	398	1.65	—	7.3	10.1	12.4	14.9	17.5	20.5	
2.21	3.15	6.90	1584	5.93	792	3.30	525	2.30	394	1.78	—	6.9	9.7	12.0	14.5	17.0	20.0	
2.21	3.65	8.00	1585	7.45	792	4.14	525	2.88	394	2.22	—	—	8.3	10.6	13.2	15.7	18.7	
2.24	4.75	10.60	1559	10.60	780	5.95	517	4.13	388	3.19	—	—	—	—	10.0	12.6	15.7	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.79	0.83	0.87	0.90	0.92	0.94	0.96	
2.27	2.50	5.60	1545	3.89	773	2.19	512	1.53	384	1.19	5.9	8.5	11.3	13.5	16.1	18.6	21.6	
2.28	2.35	5.30	1533	3.40	767	1.93	508	1.36	381	1.06	6.3	8.9	11.6	13.9	16.4	18.9	21.9	
2.29	2.65	6.00	1529	4.37	765	2.45	507	1.71	380	1.33	—	8.0	10.8	13.1	15.6	18.1	21.1	
2.30	2.20	5.00	1520	2.92	760	1.66	504	1.18	378	0.92	6.7	9.2	12.0	14.3	16.8	19.3	22.3	
2.32	3.00	6.90	1507	5.47	754	3.05	500	2.12	375	1.65	—	7.0	9.8	12.1	14.6	17.1	20.1	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.77	0.82	0.86	0.89	0.91	0.94	0.96	
2.34	6.00	14.00	1493	13.83	746	7.93	495	5.52	371	4.26	—	—	—	—	—	—	11.6	
2.35	2.80	6.50	1492	4.84	746	2.70	495	1.89	371	1.47	—	7.5	10.3	12.6	15.1	17.6	20.6	
2.36	10.60	25.00	+	+	740	14.51	491	10.33	368	8.02	—	—	—	—	—	—	—	
2.37	4.50	10.60	1476	9.91	738	5.54	489	3.85	367	2.97	—	—	—	—	10.2	12.8	15.8	
2.38	8.00	19.00	+	+	734	10.94	487	7.66	365	5.93	—	—	—	—	—	—	—	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.0	0.80	0.85	0.88	0.91	0.93	0.96	
2.41	2.35	5.60	1450	3.41	725	1.93	481	1.36	361	1.06	6.0	8.6	11.4	13.7	16.2	18.7	21.7	
2.41	3.35	8.00	1453	6.55	726	3.64	482	2.53	361	1.96	—	—	8.5	10.8	13.4	15.9	18.9	
2.43	2.50	6.00	1441	3.89	721	2.19	478	1.54	358	1.20	—	8.1	10.9	13.2	15.7	18.2	21.3	
2.44	2.20	5.30	1433	2.92	717	1.67	475	1.18	356	0.92	6.4	9.0	11.8	14.0	16.5	19.0	22.0	
2.48	2.65	6.50	1411	4.37	705	2.45	468	1.71	351	1.33	—	7.6	10.4	12.7	15.2	17.7	20.7	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.76	0.82	0.86	0.89	0.91	0.94	0.96	
2.49	2.80	6.90	1405	4.85	703	2.71	466	1.89	349	1.47	—	7.1	9.9	12.2	14.7	17.3	20.3	
2.51	5.60	14.00	1392	12.84	696	7.31	462	5.08	346	3.92	—	—	—	—	—	—	11.9	
2.56	3.15	8.00	1365	5.94	682	3.30	452	2.30	339	1.78	—	—	—	8.7	11.0	13.5	16.1	
2.58	2.20	5.60	1356	2.92	678	1.67	449	1.18	337	0.92	6.1	8.7	11.5	13.8	16.3	18.8	21.8	
2.59	2.35	6.00	1353	3.41	676	1.93	448	1.36	336	1.06	5.6	8.2	11.0	13.3	15.8	18.4	21.4	

APENDICE B 3 Selección de poleas. [Martin, 2019]

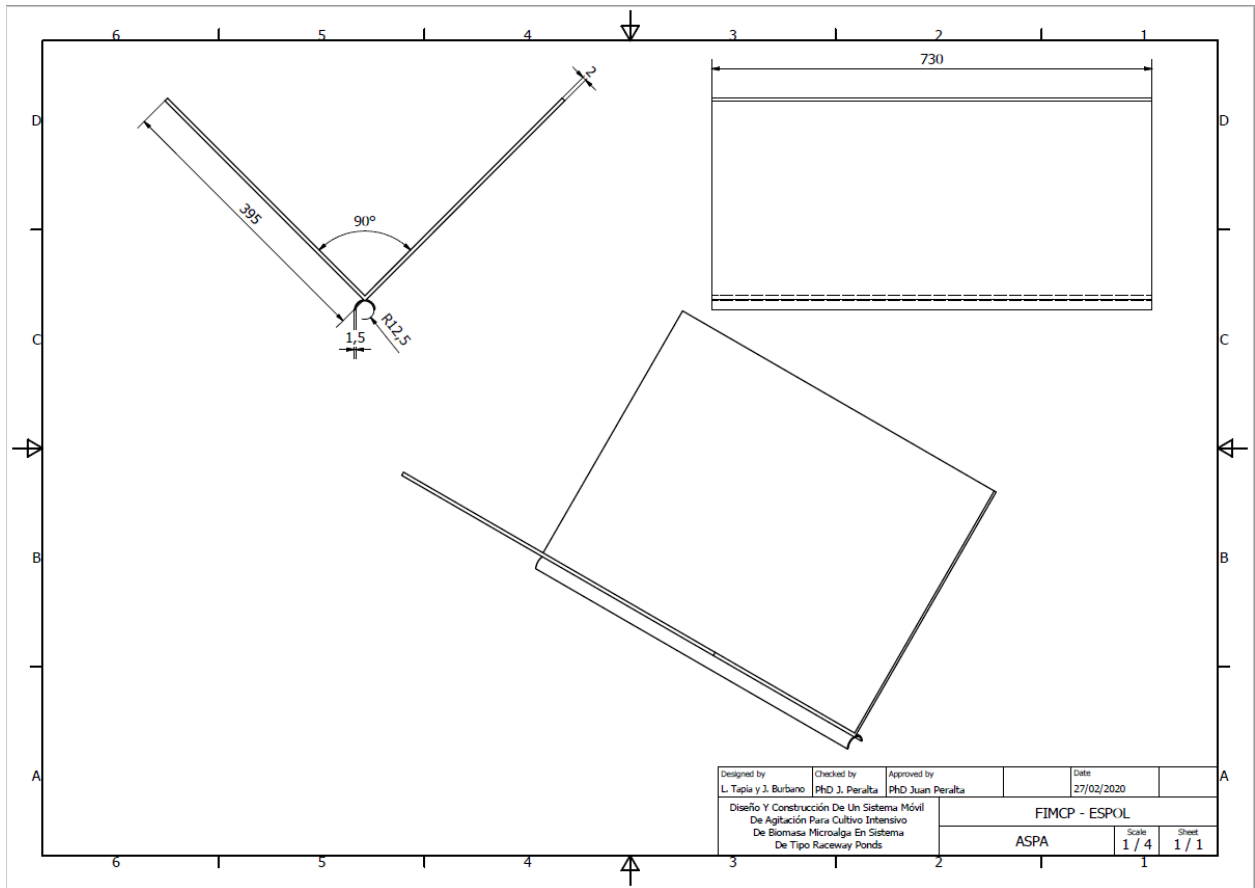
PLANOS DEL EQUIPO



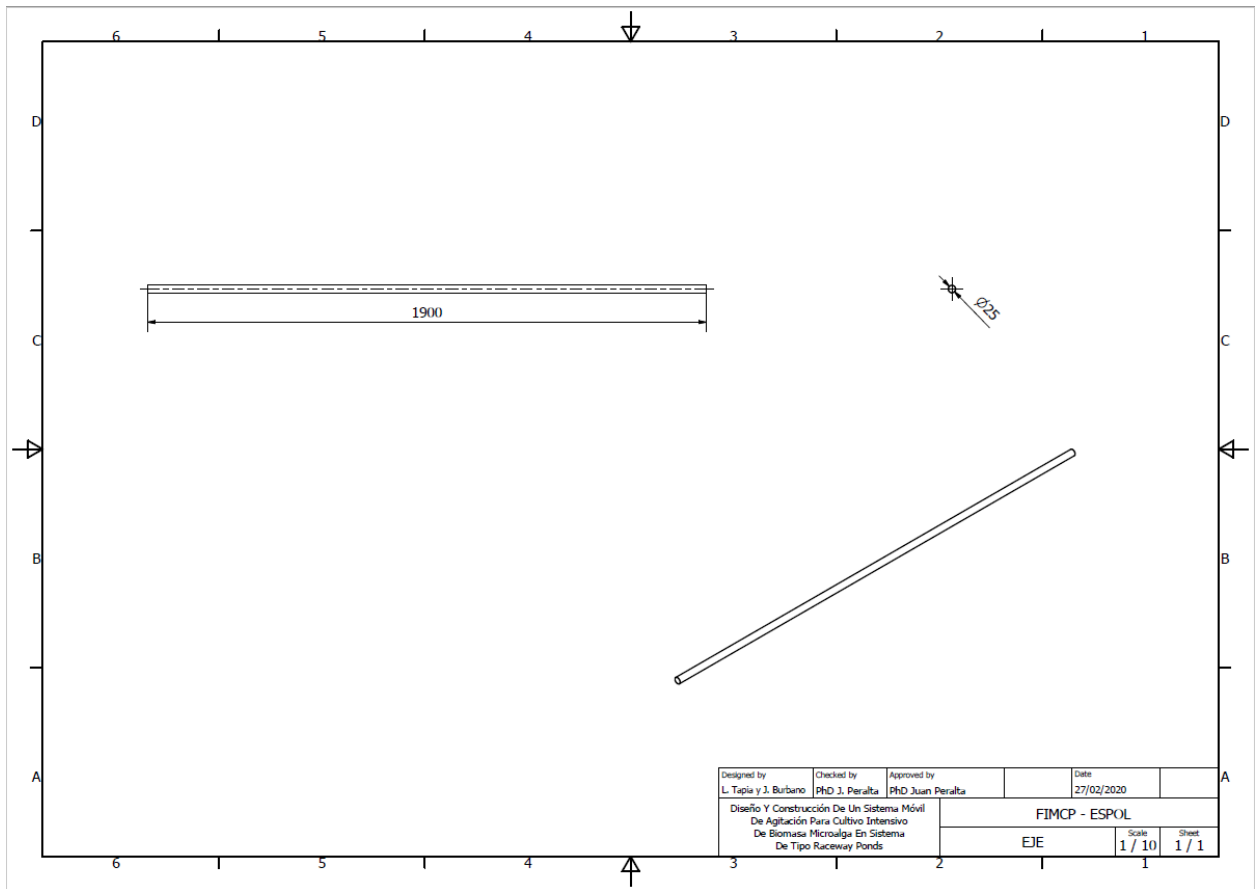
Plano 1. Diseño y construcción de un sistema de agitación para el cultivo intensivo de biomasa algal en un sistema tipo Raceway Ponds. [Elaboración propia]



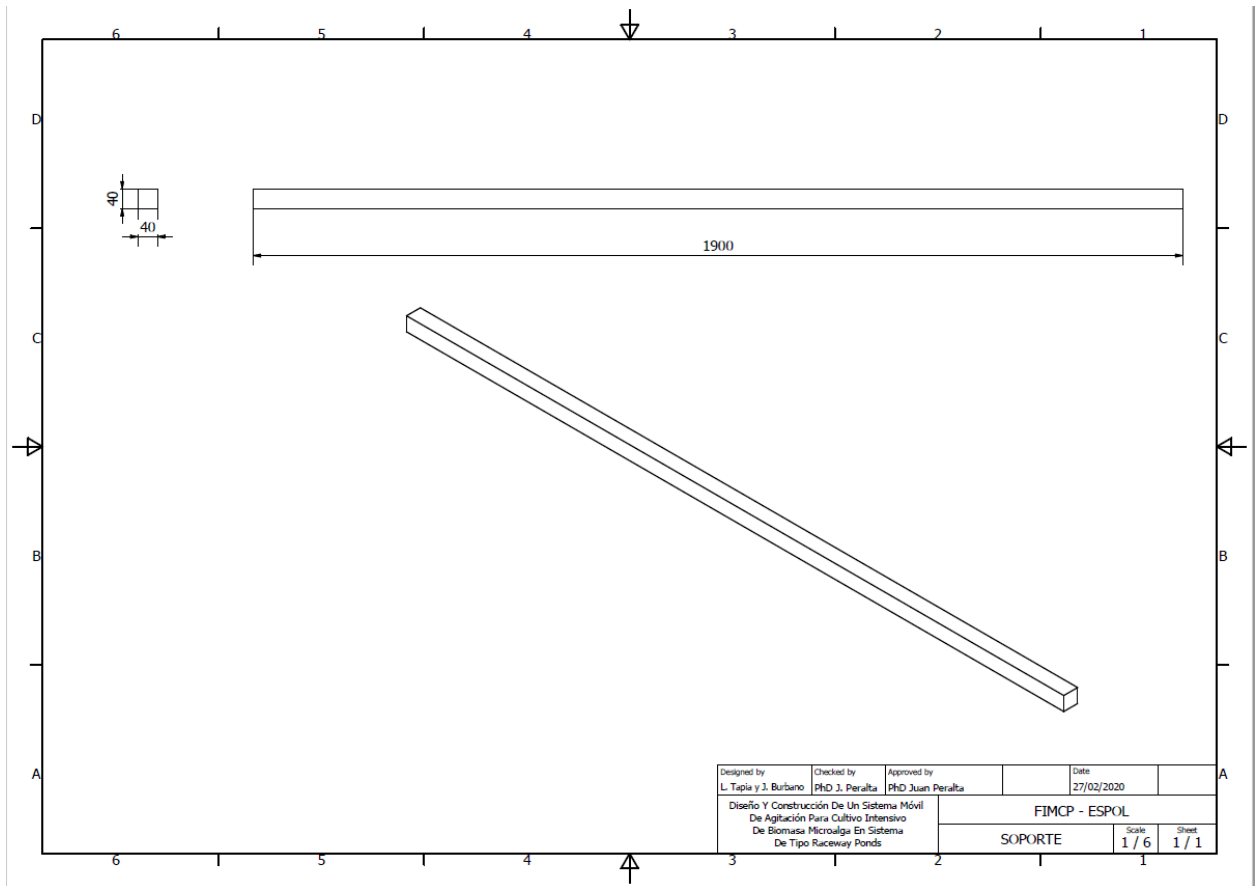
Plano 2. Dimensionamiento de la Piscina. [Elaboración propia]



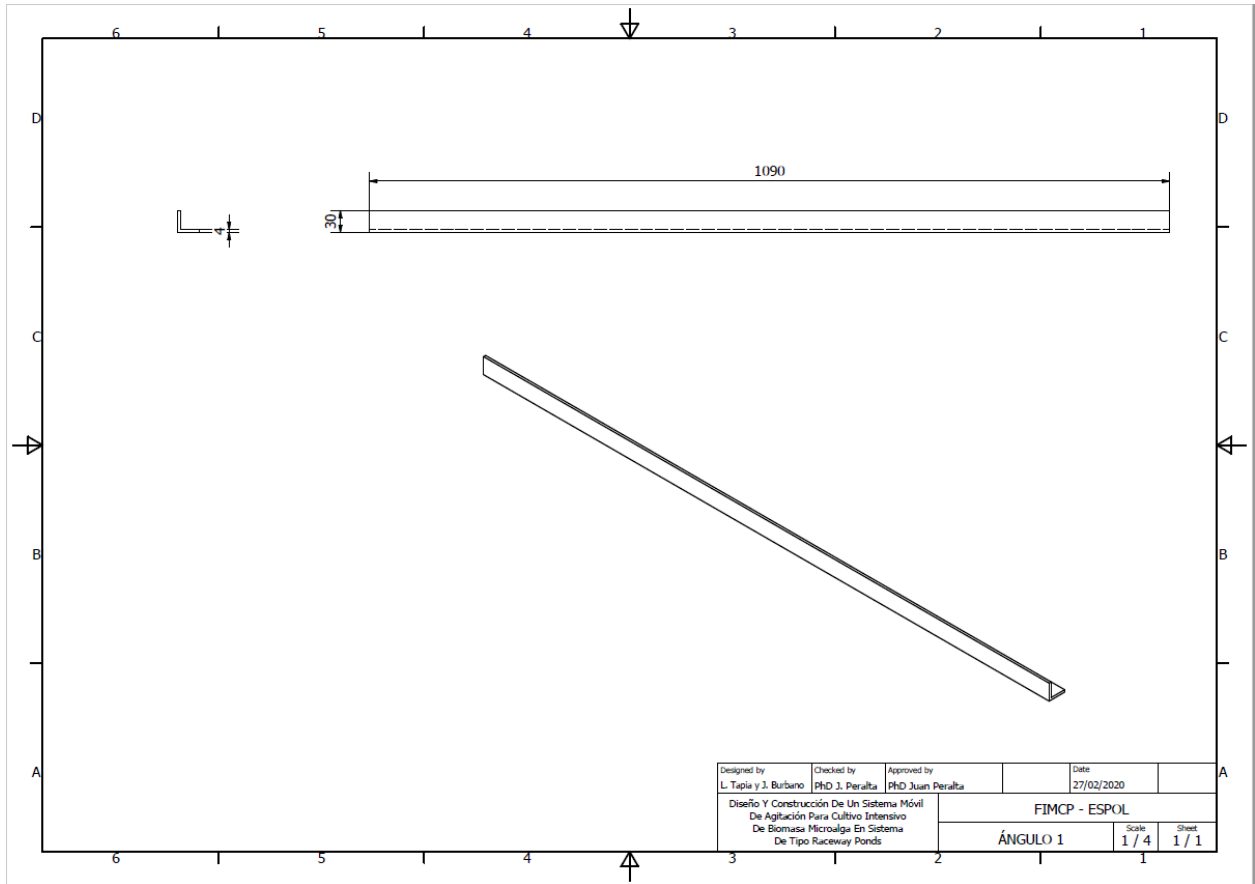
Plano 3. Dimensionamiento de las Aspas. [Elaboración propia]



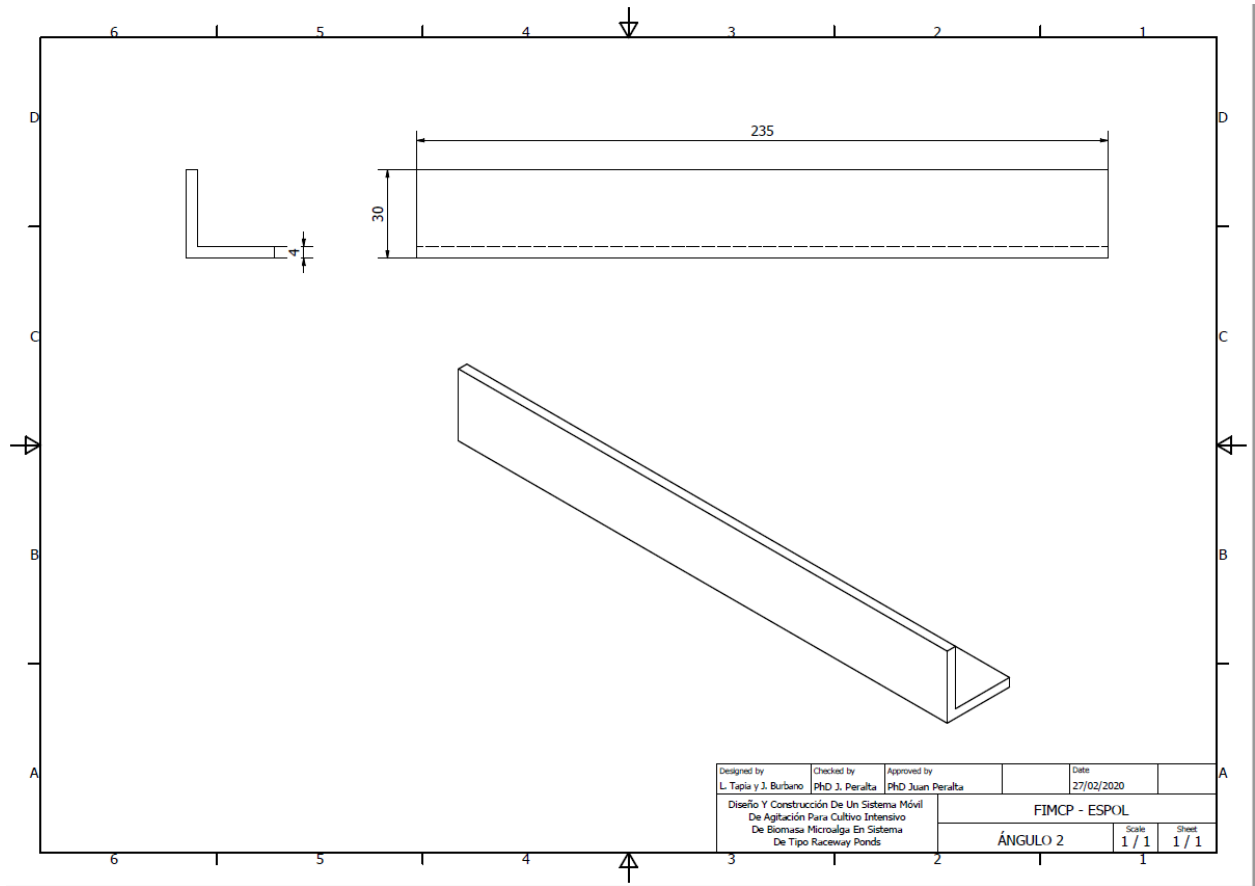
Plano 4. Dimensionamiento del Eje. [Elaboración propia]



Plano 5 Dimensionamiento del Soporte. [Elaboración propia]



Plano 6. Dimensionamiento del Ángulo 1. [Elaboración propia]



Plano 7. Dimensionamiento del Ángulo 2. [Elaboración propia]