

DISEÑO MECÁNICO DE SISTEMA PRODUCCIÓN ALIMENTARIA SOSTENIBLE  
Y CIRCULAR.

JULIAN DANILO GUARIN ARIZA

YEISON OSORIO PEÑA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA seccional BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
BUCARAMANGA  
2019

DISEÑO MECÁNICO DE SISTEMA DE PRODUCCIÓN ALIMENTARIA  
SOSTENIBLE Y CIRCULAR

Trabajo de grado para optar el título de  
Ingeniero Mecánico

Director

Dr.agr. SANDRA PATRICIA CUERVO ANDRADE

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA seccional BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
BUCARAMANGA  
2019

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga para optar al título de Ingeniero Mecánico.

---

JAVIER MAURICIO CASTELLANOS

Jurado

---

OSCAR FELIPE AMELINES SARRIA

Jurado

Bucaramanga, 31 de agosto de 2019

## **Dedicatoria**

A mi madre que tuvo este sueño mucho antes que yo y hoy no puede estar conmigo para disfrutarlo.

A mi padre, hermano, abuela y tía, por darme un hogar en el cual formarme en valores y respeto y en el cual nunca se me ha negado la oportunidad de estudiar y cumplir mis metas.

A Tatiana por ser parte importante de mi vida y ser apoyo constante en cada momento.

Y en general a toda mi familia, a todos los que siempre creyeron en que podía lograr mis metas.

**Julian Danilo Guarin Ariza**

## **Dedicatoria**

A mi madre Ana María Peña y padrastro Libardo Álvarez que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, por ser los pilares más importantes y darme siempre ese apoyo incondicional en cada momento.

A mi hermano y familiares por siempre estar presentes, acompañándome y por el apoyo moral que me dieron para seguir adelante.

**Yeison Osorio Peña**

## **Agradecimientos**

- A la ingeniera Sandra Cuervo que fungió de directora de nuestro proyecto, por su gran entrega, dedicación y apoyo.
- Al semillero de investigación y todos sus participantes, por brindarnos sus opiniones objetivas sobre nuestros progresos.
- A la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, por brindarnos espacios de desarrollo intelectual y permitir que nuestras ideas lleguen a tener el impacto deseado.
- A nuestros padres, por brindarnos el apoyo necesario para el desarrollo de este proyecto y la consecución de nuestro título.

## Tabla de contenido

### Introducción

1. Antecedentes .....	4
2. Delimitación del problema .....	5
3. Justificación.....	6
4. Objetivos .....	7
5. Marco teórico.....	9
5.1. Bombas radiales o centrifugas .....	9
5.2. Conceptos teóricos.....	10
5.3. Propiedades del acero al carbono AISI/SAE 1020 .....	13
5.4. Materiales amorfos .....	14
5.5. Silicona acética .....	14
5.6. Sistema de filtración .....	14
5.7. Plantas aromáticas .....	15
5.8. Hortalizas de hoja.....	17
5.9. Peces de producción piscícola .....	17
5.10. Parámetros químicos y calidad del agua.....	19
6. Metodología.....	21
6.1. Diseño conceptual .....	21
6.1.1. Dimensionamiento.....	21
6.1.2. Parámetros hidráulicos .....	22
6.1.3. Parámetros físicos.....	24
6.2. Construcción .....	25
6.2.1. Estructura.....	25
6.2.2. Urnas .....	26
6.2.3. Equipo de bombeo y filtración.....	26
6.2.4. Instalación hidráulica .....	26
6.2.5. Ensamblaje y puesta a punto .....	26
6.3 Pruebas de funcionamiento .....	27
6.4 Realización de pruebas a calidad del agua .....	28
7. Resultados y análisis.....	29

8. Conclusiones y recomendaciones.....	43
9. Referencia.....	45

**A Memoria de cálculo**

**B Registro fotográfico de construcción**

**C Planos**

**D Simulación**

**E Kit Paramétrico**

## Listado de gráficos

Gráfica 1: Diseño por subsistemas de sistema producción sostenible y circular ...	29
Gráfica 2: Esquema general de los resultados del proyecto .....	30
Gráfica 3: Diseño y construcción sistema de producción.....	30
Gráfica 4: Funcionamiento sistema de producción .....	32
Gráfica 5: Comportamiento del pH en el tiempo .....	33
Gráfica 6: Comportamiento dureza general en el tiempo.....	34
Gráfica 7: Comportamiento de dureza de carbonatos en el tiempo .....	35
Gráfica 8: Comportamiento de nitritos en el tiempo .....	36
Gráfica 9: Comportamiento de nitratos en el tiempo .....	37
Gráfica 10: Construcción de estructura.....	12
Gráfica 11: Lamina de poliuretano expandido .....	12
Gráfica 12: Lamina de aglomerado.....	13
Gráfica 13: Instalación de bases.....	13
Gráfica 14: Presentación de los cortes .....	14
Gráfica 15: Presentación de los cortes .....	14
Gráfica 16: Unión de vidrios en la zona de cultivo piscícola .....	15
Gráfica 17: Unión de vidrios zona de cultivo hidropónico y filtro .....	15
Gráfica 18: Bomba y tubería .....	16
Gráfica 19: Unión de tuberías de descarga .....	16
Gráfica 20: Instalación de tubería y protección final anti cortes .....	17
Gráfica 21: Puesta a punto del filtro.....	17
Gráfica 22: Puesta a punto del filtro.....	18
Gráfica 23: Puesta a punto de zona de cultivo piscícola.....	18
Gráfica 24: Puesta a punto del sistema y verificación de fugas .....	19
Gráfica 25: Instalación de materiales filtrantes (mecánicos) .....	19
Gráfica 26: Verificación de zona de descarga .....	20
Gráfica 27: Instalación de material filtrante (biológico) .....	20
Gráfica 28: Instalación de material filtrante (biológico) .....	21
Gráfica 29: Puesta a punto del filtro.....	21
Gráfica 30: Puesta a punto del filtro.....	22
Gráfica 31: Comportamiento del filtro después de 15 días de funcionamiento .....	22
Gráfica 32: Muestra del filtro al final del proyecto .....	23
Gráfica 33: Preparación de plántulas y zonas flotantes de cultivo .....	23
Gráfica 34: Cultivo inicial .....	24
Gráfica 35: Tamaño radicular inicial.....	24
Gráfica 36: Crecimiento después de 15 días .....	25
Gráfica 37: Crecimiento después de 30 días .....	25
Gráfica 38: Crecimiento radicular después de 30 días .....	26
Gráfica 39: Tamaño al final del proyecto de la zona de cultivo hidropónico .....	26
Gráfica 40: Llegada de los peces.....	27
Gráfica 41: Aclimatación de los peces .....	27
Gráfica 42: Aclimatación de los peces .....	28

Gráfica 43: Zona de cultivo piscícola a los 15 días .....	28
Gráfica 44: Zona de cultivo piscícola a los 30 días .....	29
Gráfica 45: Muestras test paramétrico 1 .....	30
Gráfica 46: Muestras test paramétrico 2 .....	30
Gráfica 47: Muestras test paramétrico 4 .....	30
Gráfica 48: Muestras test paramétrico 3 .....	30
Gráfica 49: Muestras test paramétrico 6 .....	31
Gráfica 50: Muestras test paramétrico 5 .....	31
Gráfica 51: Muestras test paramétrico 7 .....	31
Gráfica 52: Muestras test paramétrico 8 .....	31
Gráfica 53: Diseño sistema .....	32
Gráfica 54: Simulación de carga .....	33
Gráfica 55: Foto del kit paramétrico .....	34

## Lista figuras

---

Figure 1. Ejemplos de bombas centrifugas radial, diagonal, axial (izq. a der) .....	9
Figure 2. Bomba centrifuga de aspiración axial e impulsión radial .....	10
Figure 3. Efecto de la cavitación en la capacidad de la bomba .....	11
Figure 4. Valores de la velocidad especifica .....	12
Figure 5. Ejemplo mojarra roja.....	18
Figure 6. Cachama gris.....	18
Figure 7. Ejemplo Yamu .....	19
Figure 8. Capacidad de carga de mojarra de acuerdo al % de recambio de agua al día.....	40

## Lista tablas

---

Tabla 1. Propiedades mecánicas.....	13
Tabla 2. Propiedades químicas.....	13
Tabla 3. Propiedades térmicas .....	13
Tabla 4. Características morfológicas plantas aromáticas.....	15
Tabla 5. Consumo hídrico.....	39
Tabla 6. Consumo eléctrico .....	42

# Resumen

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>TITULO:</b>	DISEÑO MECÁNICO DE SISTEMA DE PRODUCCIÓN ALIMENTARIA SOSTENIBLE Y CIRCULAR
<b>AUTOR(ES):</b>	Julian Guarin Ariza Yeison Osorio Peña
<b>PROGRAMA:</b>	Facultad de Ingeniería Mecánica
<b>DIRECTOR(A):</b>	Dr. Agr. Sandra Cuervo

## RESUMEN

El desarrollo de este proyecto tiene como finalidad presentar una alternativa de producción de alimentos de una manera sostenible y circular en la que se de optimización de los recursos energéticos, físicos, de agua y tierra, dándole un carácter innovador al sistema de producción. Este sistema integra tres biosistemas "peces, plantas y bacterias" que se encuentran en beneficio mutuo a través de un sistema de recirculación de agua. El diseño mecánico de este sistema unifica varios subsistemas, uno estructural. Producción piscícola, se diseña un sistema de circulación que consta de un sistema de filtración mecánica un sistema de cultivos de manera hidropónico o aeropónica (según tipo de plantas). El prototipo diseñado, construido y analizado en este proyecto permitirá que sea escalable y con miras a ser implementado a nivel productivo. Se recopiló material bibliográfico y se utiliza recomendaciones generales para comenzar el desarrollo de los diseños, el sistema de producción alimentaria sostenible y circular será prototipado para validar los supuestos de diseño y poder realizar comparaciones energéticas y funcionales con respecto a los sistemas convencionales usados actualmente en el país. El sistema de producción alimentaria sostenible y circular espera ser otra alternativa para obtener alimentos de forma orgánica, limpia, sostenible y circular, además ofrecer posibilidades a lugares del país donde las disponibilidades de recursos energéticos son escasos y el aprovechamiento de los que hay es indispensable para el desarrollo económico de dichos lugares.

## PALABRAS CLAVE:

Producción piscícola optimización energética sistema filtración produccion hidroponica

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## Abstract

### GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** MECHANICAL DESIGN OF SUSTAINABLE AND CIRCULAR FOOD PRODUCTION SYSTEM.

**AUTHOR(S):** Julian Guarín Ariza  
Yeison Osorio Peña

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Dr. Agr. Sandra Cuervo

### ABSTRACT

The purpose of this project is to present a food production alternative in a sustainable and circular way, optimizing the energy, physical, water and land resources, giving the production system an innovative character. This system integrates three biosystems ("fish, plants and bacteria") that are mutually beneficial through a system of water recirculation. The mechanical design of this system unifies several subsystems, one structural, fish production, a circulation system is designed that consists of a mechanical filtration system a system of crops in a hydroponic or aeroponic way (depending on the type of plants). The prototype designed, built and analyzed in this project will allow it to be scalable and with a view to being implemented at a productive level. Bibliographic material is collected and general recommendations are used to begin the development of the designs, the sustainable and circular food production system will be prototyped to validate our design assumptions and be able to make energy and functional comparisons with respect to the conventional systems currently used in the country. The sustainable and circular food production system hopes to be another alternative to obtain organic, clean, sustainable and circular food, as well as offer possibilities to places in the country where the availability of energy resources is scarce and the use of what is available is essential for the economic development of said places. The sustainable and circular food production system hopes to be another alternative to obtain organic, clean, sustainable and circular food, as well as offer possibilities to places in the country where the availability of energy resources is scarce and the use of what is available is essential for the economic development of said places.

### KEYWORDS:

Fish production energy optimization filtration system hydroponic production

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## **Introducción**

En el siguiente proyecto de grado se estudian y analizan los componentes físicos y químicos necesarios para el desarrollo de un sistema de producción alimentario, que unifique una zona de producción piscícola con una hidropónica, mediante el diseño de un sistema estructural y un sistema de filtración que permita convertir los desechos de una zona, en los nutrientes de la otra.

Consiguiendo lo anterior, se puede reducir o eliminar el limitante del recurso hídrico en estos proyectos, ya que se puede alcanzar reducciones superiores al 90% en este recurso, abriendo múltiples posibilidades como, independencia alimenticia a ciertas poblaciones de país, como fuente de ingresos en sistemas de producción de tamaño industrial, desarrollo de sistemas adaptables a viviendas urbanas, etc.

Es por estas razones que se diseña y desarrolla el sistema de producción alimentaria sostenible y circular, para ofrecer una opción viable y con beneficios, comparados los sistemas de producción convencionales.

## 1. Antecedentes

En la actualidad la humanidad está sujeta a la energía disponible en su ambiente y es muy importante el cómo obtenemos y usamos dicha energía. Así mismo la importancia de la optimización de los recursos energéticos disponibles se convierte en un tema vital para el sano desarrollo de la vida en el planeta.

En Colombia procesos agrícolas y piscícolas cada día van en aumento, así como el gasto energético empleado para el funcionamiento de estas fuentes de producción. La acuicultura ha comenzado a superar la pesca desde el año 2012 y la Piscicultura Continental con la producción de Tilapia, Trucha y Cachama son los líderes de dicho crecimiento. El Banco Mundial en su última publicación en marzo de 2014 "Pescado para el 2030" predice que el 62% del pescado procederá de la acuicultura y pronostica que el crecimiento más rápido en cuanto especies se dará en tilapia, carpa y bagre (pez gato). De hecho, las previsiones apuntan que la producción mundial de tilapia casi se duplique, de 4,3 millones de toneladas a 7,3 millones de toneladas anuales entre 2010 y 2030. [1]

"Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y las Agricultura (FAO), la extracción hídrica en Colombia es superior a los 11.767 km<sup>3</sup>, de los cuales más del 50% del total se deriva del sector agrícola. Este es el sector que más agua consume en el país frente a otros como el de energía, doméstico, acuícola, pecuario, industrial y servicios". [1]

"La agricultura es la mayor consumidora de agua del mundo. De acuerdo con Naciones Unidas, el riego representa el 70% de las extracciones de este recurso. Mientras la producción de alimentos consume aproximadamente el 30% de la energía mundial, que es su mayoría se produce de manera hidráulica." [1]

El uso de recursos en proyectos agrícola lleva a estimar en excesivos el consumo energético, si tenemos que según el tipo de cultivo cada planta consume entre 40 y 60 litros de agua por semana, y ahora pensar el cómo movilizamos dicha agua hasta estos proyectos, del mismo modo pasa con la industria piscícola, si se tienen las mismas consideraciones y tenemos en cuenta que cada semana se reemplaza el 30% del total del volumen de cada estanque para producción en el país.

La UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA seccional Medellín cuenta con un diseño propio para investigación de un sistema de producción acuaponico.

## **2. Delimitación del problema**

En Colombia la mayoría de las comunidades tienen como base de su seguridad económica y alimentaria los sistemas de producción acuícola y agrícola, haciendo uso inadecuado de los recursos energéticos, incrementando los costos de producción y disminuyendo las alternativas para el acceso a estos por parte de otras comunidades menos favorecidas.

Así mismo estos procesos productivos mal manejados conllevan problemas ambientales que cada día son más notorios en el país. Por esta razón es de interés optimizar el uso de los recursos en los sectores productivos agrícola y el acuícola, con el fin de ofrecer acceso a dichas poblaciones donde el agua es de difícil acceso, el sistema de producción como fuente alimentaria de uso social o para desarrollo de proyectos productivos y económicos que traigan beneficios a dichas regiones y poblaciones del país.

El sistema de producción sostenible y circularse presenta como una alternativa que optimiza el uso de los recursos energéticos al reutilizar recursos que en otros casos serian desechados, como fuentes de otro sistema de producción, disminuyendo los requerimientos necesarios para estos sistemas y dando posibilidades de recursos energéticos e hídricos a muchas comunidades para que puedan acceder a fuentes económicas y alimenticias de este tipo.

### **3. Justificación**

La creciente demanda alimenticia, la disminución de los recursos naturales, el aprovechamiento de los residuos y la necesidad de disminuir la pobreza, hacen necesario investigar en sistemas de producción de alimentos que sea sostenible y circular en donde se realice un aprovechamiento de los residuos de los procesos productivos así mismo hacer un uso y consumo responsable de recursos energéticos e hídricos. Este sistema propuesto de un sistema de producción de alimentos de una manera sostenible y circular utilizan el movimiento para distribuir eficientemente recursos entre los sistemas bióticos que componen el sistema de producción, pero generando grandes ventajas respecto a los sistemas convencionales, optimizando la energía utilizada para la circulación, filtración y oxigenaciones de los estanques, además de la energía utilizada para la movilización de grandes volúmenes de agua cada vez que se requiera mantenimiento paramétrico del sistema.

Al contar con fuentes de desarrollo económico, los municipios pueden alcanzar un nivel de independencia económica que les permita interconectarse con el resto del país, así como ofrecer posibilidades al pequeño productor para el cual una gran inversión inicial o costos de mantenimiento le impiden hacer emprendimiento en sus municipios y por lo cual se hace indispensable el uso de la ciencia para generar independencia energética, alimenticia y económica en dichos lugares.

## 4. Objetivos

### *Objetivo general*

Diseñar, construir, y evaluar un sistema de producción alimentario sostenible y circular, mediante el cálculo y aplicación de las leyes física que rigen los materiales y leyes hidráulicas que rigen las bombas centrifugas, con el fin de optimizar recursos energéticos disponibles y dedicados en todo el país para los sistemas de producción piscícola y agrícola convencionales, además de ser una nueva fuente para recursos alimenticios obtenidos de forma amigable con el ambiente y con altos estándares de calidad (orgánicos).

### *Objetivos Específicos*

Realizar el diseño conceptual y de detalle de un sistema de producción alimentario sostenible y circular, haciendo un análisis estructural, diseñando un sistema de recirculación de y drenaje de varias etapas

**Resultado:** Planos que contienen el diseño conceptual y un documento con los cálculos requeridos.

**Indicador:** Los planos y los cálculos están basados en las leyes de la hidráulica relacionadas con las bombas centrifugas, la mecánica de materiales o resistencia de materiales.

Construir un sistema de producción alimentario sostenible y circular teniendo en cuenta dimensiones teóricas obtenidas en los cálculos realizados, los requerimientos de diseño y los criterios de sostenible y circular.

**Resultados:** Prototipo sistema de producción sostenible y circular.

**Indicadores:** El sistema de recirculación debe elevar el agua a una altura no inferior a 2 metros, el sistema estructural debe garantizar la unificación de los sistemas anexos que integran el sistema de producción y la eficiencia del sistema debe ser comparable a otros tipos de sistemas de producción piscícola y agrícola.

Analizar el comportamiento del sistema de producción haciendo pruebas de funcionamiento con el modelo construido.

**Resultados:** Documento que contiene análisis de desempeño y eficiencia energética del sistema. (consumo energético, curvas de desempeño de la bomba)

**Indicadores:** Análisis de la desviación de las curvas obtenidas experimentalmente (desempeño bomba, consumo energético) con otras que son el resultado de estudios en sistemas convencionales de producción.

## 5. Marco teórico

### 5.1. Bombas radiales o centrifugas

#### *Definición*

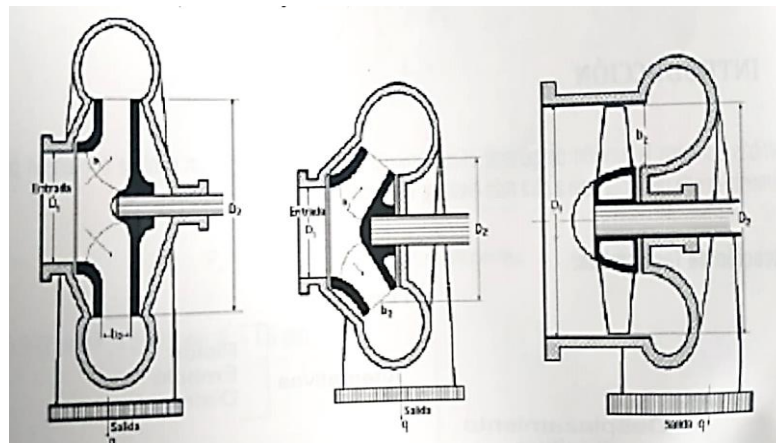
Dichas maquinas fueron diseñadas con el fin de intercambiar energía para generar movimiento de un fluido, por lo general otorgando presión y llevándolo de una cota baja a una más alta. [1]

#### *Clasificación*

Diferentes tipos de bombas centrifugas:

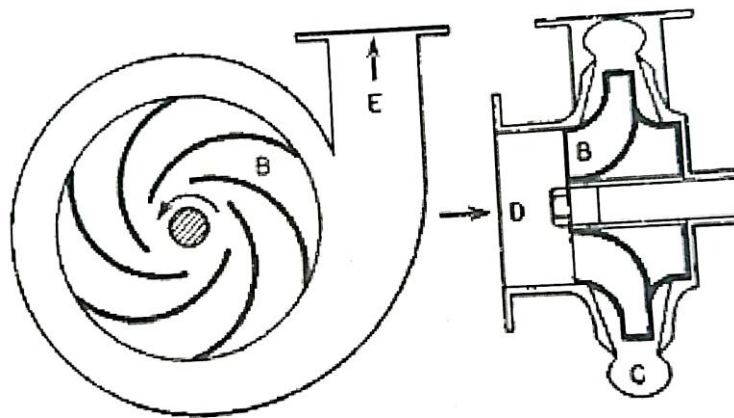
- Bomba centrifuga radial: La energía cinética otorgada al fluido es entregada de forma perpendicular al rodete.
- Bomba centrifuga diagonal: El intercambio energético se da tanto de forma radial como de forma axial.
- Bomba centrifuga axial: Su trayectoria está determinada por canales en los alabes, dando lugar a un movimiento a favor de la dirección del eje. [1]

*Figure 1. Ejemplos de bombas centrifugas radial, diagonal, axial (izq. a der)*



Fuente: tomado de [1]

Figure 2. Bomba centrífuga de aspiración axial e impulsión radial



Fuente: tomado de [1]

## 5.2. Conceptos teóricos

### *Presión*

Altura geométrica: es la altura vertical entre el líquido y el punto más alto.

Altura de aspiración: distancia entre el eje de la bomba y el nivel del fluido.

Altura de impulsión: Es el punto máximo de elevación, medido desde el eje de la bomba.

Altura manométrica: Es el resultado de la sumatoria de la altura geométrica, las pérdidas de carga, y la diferencia de la presión y la descarga. [1]

### *Perdida de carga*

Entre el fluido transporta y las piezas que componen la maquina existe fricción que deriva posteriormente en pérdidas de carga, así mismo los accesorio y tubería hidráulica. [1]

### *Caudal*

Es una medida que nos expresa un volumen determinado de fluido movido en cierto punto en específico, durante un tiempo determinado. [4]

### *Curva característica*

Debido a todos los parámetros y rangos posibles de funcionamiento de una bomba, se expresa una gráfica que identifica la infinidad de puntos de funcionamiento del

equipo, este debidamente acoplado a un motor específico, a estas gráficas se les conoce como curvas características y es única para cada bomba. [1]

### *NPSH (Net positive suction head)*

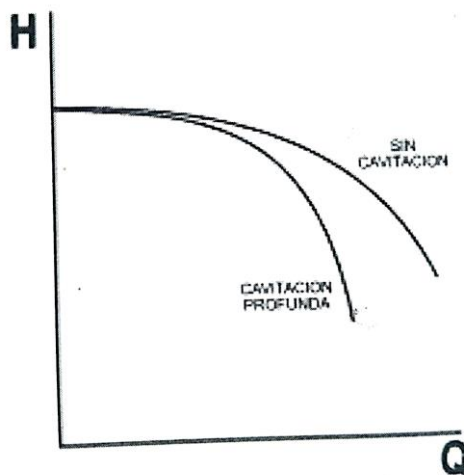
Es el nombre que recibe las características específicas de succión de una bomba, está determinada por la temperatura de bombeo y la presión de vapor del fluido. [1]

### *Cavitación*

Es el resultado de problemas con el equipo de bombeo, generalmente es un ruido acompañado de una vibración al interior de la bomba, al interior de la bomba si no alcanzamos valores superiores a NPSH disponible en la succión obtendremos este problema; causado por la implosión de pequeñas burbujas que por succión excesiva se alojan en el rodete causando desgaste, erosión y daños en la bomba.

La disminución en el rendimiento de la bomba es una de las principales consecuencias de la cavitación, como podemos ver en la figura 7

*Figure 3. Efecto de la cavitación en la capacidad de la bomba*



Fuente: tomado de [1]

Al tener una aspiración excesiva la presión en la tubería de aspiración alcanza valores menores a la presión de vapor del fluido y el fluido pasa a estado gaseoso. Siendo posteriormente transportadas por el fluido e explosionando en zona de alta presión, estas pequeñas bolsas reciben el nombre de cavidades. [1]

### *Potencia hidráulica*

Es la energía otorgada por el equipo de bombeo al fluido para ser bombeado. [1]

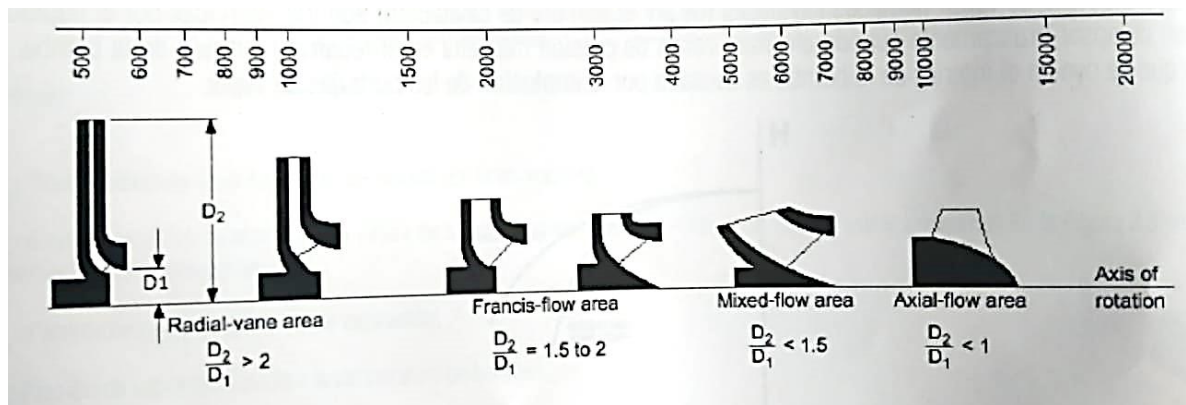
### *Potencia absorbida o de accionamiento*

Es la potencia hidráulica más la compensación otorgada por el motor para contrarrestar las pérdidas de carga, es decir, es la potencia hidráulica más las pérdidas por fricción. [1]

### *Rendimiento mecánico*

Es la relación entre la potencia hidráulica y la potencia absorbida. [1]

*Figure 4. Valores de la velocidad específica*



Fuente: tomado de [1]

### *Carga teórica*

Es la energía transferida al fluido por medio del movimiento de los alabes

### *Carga Neta*

Es el gradiente o diferencia existente en la carga dinámica entre la entrada y la salida del equipo de bombeo. [1]

### Costo de operación

Debemos tener en cuenta que por lo general los equipos de bombeo se usan de forma continua, y en cálculos normales el consumo eléctrico comprende hasta 5 veces el costo de adquisición. [1]

### 5.3. Propiedades del acero al carbono AISI/SAE 1020

#### Descripción

*“Acero de bajo contenido de carbono, de fácil mecanizado y buena soldabilidad.*

*De baja dureza para usos convencionales de baja exigencia Cuando se requiere una superficie muy dura pero un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente.*

*Estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y su maquinabilidad. (ferrocortes, 2015)”*

*Tabla 1. Propiedades mecánicas*

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Limite de Fluencia		Alargamiento en 2" (%)	Reduccion de area (%)	Dureza(HB)	Relacion de maquinabilidad 1212 EF=100%
	PSI	MPa	PSI	MPa				
Caliente y maquinado	38000	400	32000	220	25	50	116	70
Estirado en frío	64000	440	53600	370	15	40	126	

Fuente: tomado de [4]

*Tabla 2. Propiedades químicas*

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.43	0.15	0.60	-	-
0.50	0.35	0.90	0.040	0.50

Fuente: tomado de [4]

*Tabla 3. Propiedades térmicas*

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.43	0.15	0.60	-	-
0.50	0.35	0.90	0.040	0.50

Fuente: tomado de [4]

#### **5.4. Materiales amorfos**

Cuando el material está conformado por órdenes de corto alcance de átomos o iones se le considera un material amorfo; o no cristalino. Cuando se consiguen arreglos periódicos se maximiza la estabilidad termodinámica. Estos materiales son el producto de la cinética de su constitución que no dio lugar a dicho arreglos periódicos. [6]

#### **5.5. Silicona acética**

Compuesto de gran uso para uniones de materiales amorfos, cuenta con baja elasticidad, pero buenas condiciones para uso externo, además de tolerar el contacto directo con el sol.

Para el desarrollo del proyecto se busco es especial silicona acética sin fungicidas. [5]

#### **5.6. Sistema de filtración**

##### *Descripción*

Es un conjunto de sistemas que permite por diferentes medios mejorar la calidad de un medio, en el caso acuoso, y con esto retirar o retener sustancias para controlar dicho medio.

##### *Clasificación*

Se dividen en tres grupos, que serán determinados según su función o según los materiales que los componen

##### *Filtración mecánica*

En esta etapa la filtración se centra en retirar materia en suspensión por medio de un grupo de mayas de diferentes granulometrías.

##### *Filtración biológica*

En esta etapa el filtro desarrolla un conjunto de bacterias aeróbicas y anaeróbicas en la superficie porosa de los materiales filtrantes, con el fin de realizar ciclos como el del nitrógeno, consiguiendo con esto consumir o convertir sustancias toxicas en otras menos toxicas.

##### *Filtración química*

La filtración química utiliza materiales filtrantes por lo general de origen sintético, para retener de manera autónoma productos químicos tóxicos como, por ejemplo, amoniaco, fosfato o silicatos.

## 5.7. Plantas aromáticas

Tabla 4. Características morfológicas plantas aromáticas

**CUADRO 1: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

ESPECIES	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS
ACEDERA SILVESTRE (Rumex acetosa)	Es una planta que llega a medir hasta 50 cm de altura. Suele encontrarse en zonas húmedas y suelos ricos en nitrógeno. Las flores de pétalos verdes o rojos se agrupan en espigas de hasta 25 cm de largo.
AJEDREA DE JARDÍN (Satureja hortensis)	Esta hierba es anual y muy aromática, de tallo erguido y ramificado que alcanza los 30 o 40 cm de altura. Se desarrolla en forma óptima en climas secos y es de color violeta o verde; posee hojas opuestas lanceoladas.
ALBAHACA (Ocimum basilicum)	La albahaca es una planta herbácea anual de tallo ramificado. Puede llegar a medir hasta medio metro de altura, con hojas opuestas, ovales y apuntadas de color verde, con flores blancas. La planta se puede cultivar al aire libre o en maceta en suelos ricos. Se seca después de su floración, por lo que conviene cortar las flores apenas aparecen, de esta manera se las puede utilizar hasta dos años.
ALCAPARRA (Capparis spinosa)	La alcaparra es un arbusto perenne de raíz leñosa y ramificaciones erguidas, divididas en la parte superior, con hojas circulares de color verde y flores rosadas. Crece en lugares soleados.
ANÍS DULCE (Pimpinella anisum)	Es muy aromática. Esta planta es herbácea anual y puede llegar a medir hasta 50 cm de altura. Es de tallo erguido ramificado y con hojas basales partidas y pequeñas flores blancas que dan lugar a frutos de forma oval.
ARTEMISA (Artemisa vulgaris)	Es muy fácil de cultivar. Sus propiedades medicinales se conocen desde la antigüedad. La artemisa es una planta vivaz de porte cespitoso, con un tallo anguloso de color rojizo cubierto de hojas alternas muy recortadas y flores de color amarillo.
BERRO DE JARDÍN (Lepidium sativum)	El berro de jardín es una planta anual de tallo erguido que puede llegar a medir hasta medio metro de altura, dividida en la parte superior en ramificaciones floridas. Las inflorescencias son racimos compuestos que sostiene pequeñas flores de color blanco rojizo.
BERRO DE AGUA (nasturtium officinalis)	El berro de agua crece en lugares húmedos, tanto en la llanura como en montañas, es una planta herbácea perenne con tallo rastro de hasta 80 cm, de altura y hojas de color verde claro acorazonadas, con flores de color blanco en forma de racimo.
BORRAJA (Borrago officinalis)	La borraja crece en forma óptima en suelos bien tratados y nitrogenados, se han obtenido ejemplares de hasta 1,30m. Es una planta anual cubierta de pelos blanquecinos y tallo ramificado con hojas ovaladas. En el extremo superior del tallo aparecen cimas sueltas de flores azules.
MEJORANA (Majorana hortensis)	La mejorana, planta herbácea anual de tallo erguido y ramificado, puede medir unos 40 o 50 cm, posee hojas opuestas y ovaladas, y pequeñas flores en forma de racimos. Despide un fuerte y agradable perfume.
MELISA (Melissa officinalis)	Esta planta desprende un característico olor a limón, es herbácea perenne de tallo erguido que puede medir hasta 1 m de altura con hojas provistas de un largo pecíolo, opuestas y alargadas y flores de distintos colores dependiendo de la edad de la planta.
MENTA (Mentha piperita)	De agradable aroma, la menta es una planta perenne de unos 30 cm de altura, posee numerosos tallos con hojas pequeñas, lanceoladas, opuestas, apenas dentadas y flores agrupadas en espigas terminales de color violeta.
MOSTAZA BLANCA (Sinapis alba)	Toda la planta está recubierta de vello, La mostaza blanca es una herbácea anual de tallo erguido de hasta 1 metro de altura muy ramificado, y que sostiene hojas grandes de hasta 25 cm alternas y alargadas, con flores de color amarillo dispuestas en forma de racimo.
ORÉGANO (Origanum vulgare)	El orégano es una planta perenne de tallo erguido de hasta 40 cm de altura, cubierto de hojas opuestas y ovales de pequeño tamaño. Las hojas más grandes se encuentran en la parte inferior de la planta. Cada rama superior termina en pequeñas flores violáceas .
PERIFOLIO (Anthriscus cerefolium)	El perifolio tiene pequeñas flores de color blanco. Es una planta anual, de tallo hueco de hasta 60 cm de altura, hojas de color verde claro y gruesa raíz principal de fuerte aroma.

ESPECIES	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS
POLEO ( <i>Mentha pulegium</i> )	Es una planta muy aromática, perenne, que alcanza fácilmente los 40 cm de altura, con numerosos tallos de hojas oblongas, lanceoladas, arrugadas y de color verde; posee además flores agrupadas en espigas de color lila.
COMINO ( <i>Cuminum syminum</i> )	De un intenso aroma, el comino es una planta anual de 30 cm a 1 m de altura, con hojas lancinadas, que sostiene un número reducido de flores de pétalos blancos o rosados.
ENELDO ( <i>Enethum graveolens</i> )	Es una planta de tipo anual de tallo ramificado que llega a medir hasta 1 m de altura, con pequeñas flores amarillas. Los frutos están formados por 2 aquenios ovales adheridos por su cara ventral que es lisa, y están rodeadas por un ala de color claro.
ESTRAGÓN ( <i>Artemisa dracunculus</i> )	Es una planta muy ramificada, con flores amarillentas, herbácea perenne, con ramificaciones erguidas (que pueden alcanzar a lo sumo 1 m) dispuestas en capítulos cilíndricos pequeños que forman mazorcas compactas.
GENCIANA ( <i>Gentiana lutea</i> )	La genciana es una planta herbácea perenne, de raíz fuerte y hojas elípticas. Posee un tallo erguido y liso que puede llegar a medir hasta 1 m de altura, hojas ovales puntiagudas y con nervios, y flores de color amarillo. Las semillas de color pardo están comprimidas.
HIERBA DE LOS CANÓNIGOS ( <i>Valeriana locusta</i> )	Se trata de una planta herbácea anual de tallos ramificados que suelen llegar a medir 30 cm de altura, con hojas alargadas que presentan una nervadura característica, posee pequeñas florillas blancas o azuladas.
HIERBA BUENA ( <i>Mentha spicata</i> )	Es una planta que desprende un fuerte aroma, es anual perenne, y algunos ejemplares suelen llegar a medir hasta 60 cm de altura, posee un conjunto de rizomas entrelazados subterráneos, de los que nacen numerosos tallos con hojas lanceoladas, dentadas y de color verde, además de flores de color violeta.
HINOJO DE FLOREN- CIA ( <i>Foeniculum vulgare</i> )	Toda la planta desprende un fuerte aroma. Es bianual de hasta 2 m de altura, de tallo erguido, estriado y ramificado, forma pequeñas flores amarillas. -
HISOPO ( <i>Hyssopus officinalis</i> )	El hisopo puede alcanzar unos 50 o 60 centímetros de altura, es una planta herbácea perenne, posee un tallo ramificado y leñoso con numerosos vástagos de hojas lanceoladas y flores azules.
RUIBARBO ( <i>Rheum rhabarbarum</i> )	Es una planta que se desarrolla en primavera, llega a medir hasta 1 metro, dotada de una raíz principal que forma prolongaciones laterales, con hojas muy grandes y acorazonadas. A principios de junio forman una gran inflorescencia con flores de color crema.
SALVIA ( <i>Salvia officinalis</i> )	La salvia, es un semiarbolito vivaz de tallo ramificado cubierto de hojas perennes, opuestas, ovales, rugosas y de color verde. Alcanza hasta 80 cm de altura con flores de color violeta, rojo violáceo o blanco. Es muy aromática.
TOMILLO ( <i>Thymus vulgaris</i> )	Este pequeño arbusto rastrero, vivaz, muy ramificado, de tallos herbáceos cubiertos de hojas opuestas y de forma lineal, alcanza los 30 cm de altura. Las ramas rectas y leñosas reúnen en su extremidad pequeñas flores blancas dispuestas en espiga.
VALERIANA ( <i>Valeriana officinalis</i> )	Capaz de alcanzar 1,5 m de altura, de flores blancas o rojizas pequeñas, la valeriana es una planta herbácea vivaz de numerosas raíces con el interior hueco y una pequeña cepa de la que brota un tallo anguloso con hojas opuestas y pinadas.
VERDOLAGA ( <i>Portulaca oleracea</i> )	La verdolaga tiene tallos de 30 cm de largo. Es una planta anual, rastrera. En los suelos húmedos puede alcanzar 1 m de diámetro. Sus hojas son alargadas y flores de color blanco, amarillento o rojo.
ROMERO ( <i>Rosmarinus officinalis</i> )	El romero es un arbusto leñoso perenne de porte rastrero ascendente, con hojas lineales opuestas de color verde en la parte superior y blancas en la inferior. Tiene un fuerte aroma penetrante.
RUEDA ( <i>Ruta graveolens</i> )	Planta leñosa perenne de tallo ramificado con hojas alternas y lisas, con flores de color amarillo. Toda la planta posee abundantes glándulas y desprende un fuerte olor característico.

Fuente: tomado de [10]

## 5.8. Hortalizas de hoja

### *Definición*

Son fácilmente distinguibles debido a que la zona comestible y aprovechable de dichas plantas son sus hojas.

### *Propiedades y características*

Algunas de ellas son acelga, espinaca *Spinacea sativa* L., lechuga *Lactuca sativa* L., escarola *Cichorium endivia* L., rúcula *Eruca sativa* Mill., achicoria *Cichorium intybus* L., endivia, cebolla de verdeo *Allium fistulosum*, apio, perejil, repollo *Brassica oleracea* L. var. *Capitata* L., repollito de Bruselas *Brassica oleracea* L. var. *Gemmifera* Zenker, lechuga japonesa, col de la china. Son consideradas no estacionales debido a la fácil adaptabilidad a diferentes temperaturas. [11]

## 5.9. Peces de producción piscícola

### *Descripción*

*“Una especie es adecuada para ser cultivada cuando reúne las siguientes características:*

- Buena aceptación en el mercado
- Rápido crecimiento, alcanzando la talla comercial en el menor tiempo posible
- Aceptación de alimentación suministrado, ya sean granos, subproductos de la agroindustria, forrajes y/o alimentos concentrados.
- Tolerancia a altas densidades de siembra
- Tolerancia a niveles bajos de oxígeno disuelto y otras condiciones de calidad del agua adversas.
- Una disponibilidad permanente de alevinos.
- Resistente a parásitos y enfermedades
- Rentabilidad en el cultivo. (meriño,2006)”. [12]

### *Tilapia roja*

*“Es el pez más cultivado en Colombia, a donde llego a comienzos de los 80. Se conoce también como mojarra roja, mojarra cardenal y pargo rojo de agua dulce. Posee una coloración atractiva, buena proporción carne/hueso; es bien recibida en los grandes mercados en presentación entera o filetes, ya sea fresca o congelada. (meriño,2006)”. [12]*

*Figure 5. Ejemplo mojarra roja*



Fuente: tomado de [12]

### *Cachama*

Son peces originarios del río Amazonas y Orinoco, su baja exigencia tecnológica, su resistencia a bajas concentraciones de oxígeno y a las enfermedades, la producción constante de alevinos, fácil alimentación, buen crecimiento y buena aceptación en el mercado, hace de esta especie una buena alternativa para su uso en la acuicultura [12]. En la Figura 6 se presenta una fotografía de un ejemplar de cachama gris

*Figure 6. Cachama gris*



Fuente: tomado de [12]

### *Yamu*

Esta especie es nativa del río Orinoco, Requiere para su reproducción una calidad de agua buena calidad de agua, se adapta fácilmente al cautiverio, es omnívoro. Su desarrollo en los primeros meses de vida es rápido si se hace un buen manejo productivo. Tiene buena aceptación en el mercado; sin embargo, el Yamu es una

especie notoriamente nerviosa, por lo que su manejo debe ser adecuado para evitar problemas en su desarrollo. [12].

*Figure 7. Ejemplo Yamu*



Fuente: tomado de [12]

### **5.10. Parámetros químicos y calidad del agua**

El agua necesaria para el desarrollo de la acuicultura debe cumplir con unos requerimientos mínimos de propiedades químicas, físicas y biológicas para el cultivo y producción viable de sistema de producción. Biológicamente, el agua está compuesta por bacterias fotosintéticas, microorganismos saprofitos (bacteria, hongos y parásitos), fitoplancton y zooplancton; Químicamente, además del hidrogeno y el oxígeno, contiene minerales metales y contaminantes, los cuales son específicas de cada región (UNESCO, WWAP, 2003). Según la especie a cultivar se desarrolla una tecnología de cultivo y unos parámetros de calidad del agua

Las principales propiedades químicas a controlar son el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, el pH, la dureza, la alcalinidad, el amonio, los nitritos y los fosfatos. [12]

#### *Ph*

Es la concentración de iones de hidrogeno, clasificadas en agua acidas, neutras y alcalinas según dichos valores. Los valores ideales están dados entre 6 y 8, aunque también depende del sistema acuático a reproducir. [12]

#### *Dureza (Gh)*

Esta relaciona la concentración de iones de calcio y magnesio, la estabilidad del sistema acuático esta dado en gran medida por la dureza. Se pueden encontrar diferentes biotipos según su concentración, divididos en aun blandas, medianamente duras y duras y esto debido a los niveles de concentración de dichos iones. Cada pez o sistema acuático maneja durezas diferentes y es recomendable evitar fluctuaciones o variaciones según las especies acuáticas para evitar choques osmóticos. [12]

### *Dureza de carbonatos (Kh)*

Es la concentración de carbonatos y bicarbonatos que son de gran importancia para establecer el pH y no generar fluctuaciones. Lo recomendable es mantener los más constantes posible la concentración de estos y con este fin evitar fluctuaciones de pH. [12]

### *Nitritos*

Los nitritos son producidos por procesos biológicos mediante los cuales consumimos el amoníaco disponible y obtenemos productos nitrogenados llamados nitritos. Un exceso de nitrito indica una pobre colonia bacteriana insuficiente de consumir estos nitritos y convertirlos en nitratos, teniendo como resultados enfermedades para los peces e incluso la muerte dado que el nitrito también es tóxico. [13]

### *Nitratos*

Los nitratos son productos del correcto funcionamiento del sistema de filtración. Son el resultado del ciclo del nitrógeno que con la ayuda de bacterias nitrificantes convirtieron el nitrito en nitrato. Cuando los niveles de nitrato son críticos es signo de debilidad en los procesos de filtración biológica, un exceso en producción de amoníaco, compuestos orgánicos o poca eliminación del mismo por medio del cambio parcial de agua o al poco consumo de las plantas presentes en el ecosistema. Exceso de nitrato produce alga. [13]

## 6. Metodología

### 6.1. Diseño conceptual

Para la realización del diseño conceptual y el cálculo paramétrico del sistema, se realizó un proceso investigativo y se recopiló información que se tuvo en cuenta en el momento del desarrollo de los diseños.

El diseño se desarrolló teniendo en cuenta 4 subsistemas; El subsistema zona de producción piscícola, el subsistema zona de producción hidropónica, el subsistema estructural y el subsistema zona de filtración.

A continuación, se enumeran los pasos que se siguieron para diseñar y calcular un sistema producción alimentaria circular y sostenible.

#### 6.1.1. Dimensionamiento

Se deben tener en cuenta las dimensiones de acuerdo al espacio donde va a ser ubicado el sistema.

- Determinar el espacio que va a tener la zona de producción hidropónica y piscícola, así mismo la altura total del sistema, teniendo en cuenta que el subsistema de filtración se encuentra encima del subsistema piscícola y el hidropónico encima del subsistema de filtración. Después de este dimensionamiento se calculó el volumen total del sistema para los cálculos hidráulicos.

$$V = LxAxH$$

- Calcular el volumen total del sistema

$$Vt = Vp + Vh + Vf$$

Donde:

$Vp = \text{Volumen piscicola}$

$Vh = \text{Volumen hidroponico}$

$Vf = \text{Volumen filtracion}$

### 6.1.2. Parámetros hidráulicos

Se requiere que el volumen total de agua del sistema sea movido para que pase a través de los filtros y así pueda cumplir con los requerimientos de calidad de agua del sistema productivo.

Cálculo del caudal del sistema por hora

$$Q = Vt/t$$

Para que el sistema cumpla con los requerimientos de calidad de agua se hará pasar por el filtro 4 veces por hora.

Calculo del caudal total de bombeo por hora  $Q_t$ , para cumplir con la calidad del agua

$$Q_t = 4Q$$

*Calculo de pérdidas del sistema hidráulico*

- Calcular la velocidad del fluido por la tubería  $v$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$A = \pi r^2$$

- Con el valor de la velocidad calculamos el numero Reynolds y caracterizamos el comportamiento del fluido en la tubería

$$Re = \frac{\rho Dv}{\mu}$$

- Calcular el factor de Darcy

$$f = \frac{0,25}{\left(\log_{10}\left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right)^2}$$

- Con respecto al valor de Darcy, calculamos las pérdidas mayores y menores en la tubería de aspiración e impulsión.

$$h_f = f \frac{Lv^2}{D^2g}$$

$$hl = k \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{pérdidas} = hl - hf$$

#### *Criterios para selección de la bomba*

- Por último, calcular el valor de altura neta que tendrá el sistema y el cual será indispensable para escoger de manera óptima el equipo de bombeo.

$$Hm = Ha + hf_{asp} + Hi + hf_{imp}$$

- Calcular la Carga Neta Positiva en Aspiración NPSH

$$NPSH = \frac{Pa}{\gamma} - Ha - hf - \frac{Pv}{\gamma}$$

- Obtener el valor para la potencia hidráulica  $P_h$  y el valor teórico para el consumo eléctrico

$$P_h = \gamma * Q * h_b$$

$$P_{ab} = \frac{P_h}{\mu}$$

### 6.1.3. Parámetros físicos

Para el cálculo estructural de sistema se tuvo en cuenta:

- Cálculo de la columna de agua y el peso total del sistema
- Cálculo del momento máximo de la estructura del sistema

$$M_{max} = \frac{w * l^2}{8}$$

- Selección de los materiales requeridos para la estructura, así como sus dimensiones.

Se seleccionó ángulo de acero AISI/SAE 1020

- Cálculo la deformación

$$y = -\frac{W * l^4 * 5}{385 * E * I}$$

- Cálculo del esfuerzo máximo a tensión y compresión

$$\nabla = \frac{M * C}{I}$$

- Se tuvo en cuenta los factores de diseño en los cálculos
- Para el diseño del sistema de producción alimentaria sostenible y circular se utilizó como herramienta el software Solidworks
- Simulación en el programa ANSYS, las cargas en la estructura para comparar los valores teóricos obtenidos para la deformación del material de la estructura.

## Diseño del sistema de filtración

El subsistema debe cumplir con los criterios físicos y químicos, que permitan mantener la calidad del agua adecuada para que los sistemas bióticos (peces, plantas, microorganismos) convivan, reproduzcan y desarrollan conjuntamente de forma correcta.

Se determinaron diferentes etapas con el fin de realizar de forma adecuada el control de productos tóxicos en la misma y mantener la calidad del agua.

Inicialmente una etapa de sedimentación para recolectar la mayor parte de los desechos (de mayor tamaño) del sistema de producción.

Una segunda etapa encargada de la filtración mecánica (desechos que no se sedimentaron) constituida por mallas de diferentes granulometrías.

Por tercero una etapa de filtración biológica, conformada por una serie de materiales con alta porosidad (Cerámica, arcilla, piedra volcánica) con el fin de aportar al crecimiento y reproducción de las bacterias (aeróbicas y anaeróbicas) encargadas del consumo de amoníaco.

Por ultimo una etapa de filtración química, dispuesta para el manejo de productos especiales (medicar poblaciones o extraer materiales tóxicos del agua).

## **6.2. Construcción**

Construir el sistema de producción alimentario sostenible y circular teniendo en cuenta dimensiones teóricas obtenidas en los cálculos realizados, los requerimientos de diseño y los criterios de sostenible y circular.

A continuación, se enumeran los pasos que se siguieron para la construcción de un sistema de producción alimentario sostenible y circular:

### **6.2.1. Estructura**

Para la construcción del subsistema estructural se tuvo en cuenta las dimensiones escogidas en el diseño conceptual, luego con los cálculos estructurales y simulados y validados.

Con base en los diseños se procedió a buscar el mejor precio posible para la compra del acero y para los procesos requeridos posteriormente, a tener en cuenta que el prototipo no se instaló en la universidad pontificia bolivariana como se preveía

inicialmente, debido al monitoreo diario que se le debía hacer a cada uno de los ecosistemas.

### **6.2.2. Urnas**

Las urnas son los habitáculos donde se van a recibir las poblaciones (peces, plantas y microorganismos) para su desarrollo.

Para la construcción de las urnas se tuvo en cuenta los criterios determinados por el diseño conceptual, así como los cálculos realizados, teniendo en cuenta el volumen y la columna de agua que debía soportar cada urna.

Para ambas urnas se utilizaron láminas de vidrio recocido, pero por la diferencia entre las cargas y costo, se decidió que el espesor de la urna del subsistema de cultivo piscícola tuviese un espesor de 8mm y el espesor de la urna del subsistema de cultivo hidropónico y filtros de 5mm.

La urna de los microorganismos y plantas(120x60x20cm), está conformada por dos secciones, la zona de cultivo hidropónico(70x60x20cm) y la zona del subsistema de filtración(50x60x20cm). En la zona de filtración se hizo necesario la división en cuatro secciones más pequeñas (7x60x20cm) para el correcto funcionamiento del subsistema de filtración.

### **6.2.3. Equipo de bombeo y filtración**

De acuerdo a los cálculos hidráulicos y los criterios de selección de la bomba requeridos para el sistema son de 1900L/h y 1.5m de cabeza. La bomba que se adquirió para el sistema es sumergible de marca Resun y con condiciones de uso 2000L/h y 2m de cabeza.

### **6.2.4. Instalación hidráulica**

Los diseños conceptuales y cálculos realizados restringían el tamaño de las tuberías, para la zona de impulsión de 1" y para la zona de recirculación de 2" con longitudes no superiores a 1 metro, para esto se utilizó el material poli cloruro de vinilo (PVC) a presión de uso sanitario.

### **6.2.5. Ensamblaje y puesta a punto**

Teniendo todos los subsistemas construidos se procedió al ensamblaje del sistema de producción. Necesitando para esto adquirir una lámina de aglomerado de madera (18mm) y de poli estireno expandido (20mm) para dar soporte de las urnas.

se ubicó la estructura metálica en el lugar que correspondería a su sitio definitivo (debido a su peso final se hace difícil moverlo después), luego, se colocan en las bases primero la lámina de aglomerado y luego la lámina de poli estireno expandido, se procede con la silicona acética a unir las urnas principales, tanto la correspondiente a la zona de cultivo piscícola y la zona de cultivo hidropónica y se dejó que la silicona secase durante aproximadamente 48 horas; seguido, utilizando silicona acética nuevamente se adhiere el marco perimetral y las divisiones que corresponden al filtro ,finalmente, y se deja secar aproximadamente otras 48 horas. Se instala la bomba escogida y se corta la tubería y se instala la tubería de 1" pulgada encargada de la impulsión del agua, y la tubería de escape. Se dejó secar el adhesivo para PVC durante 2 horas y se procedió a llenar parcialmente el sistema con el fin de identificar posibles fugas.

Luego de corroborar la no existencia de fugas en el sistema se procedió a llenar totalmente, agregar el material filtrante y poner a funcionar el sistema de bombeo, con el fin de empezar con el proceso de maduración de la colonia bacteriana y la remoción de posibles agentes externos que pudiesen quedar inmersos en el fluido.

Luego de 8 días en correcto funcionamiento del sistema se procede a agregar una lámina de poli estireno expandido de 20mm de espesor que nos servirá de sostén para el cultivo hidropónico y se plantan las plántulas que no servirán de población de prueba para la validación del sistema.

Después de 8 días, se agregan los peces que servirán de población de prueba para la validación del sistema.

### **6.3 Pruebas de funcionamiento**

Las pruebas de funcionamiento del sistema se realizaron por un periodo de 2 meses.

En primer lugar, se realizó un monitoreo constante de los parámetros químicos del agua, que para los cultivos hidropónicos y piscícolas son indispensables. Los principales son, pH, gH, kH, nitritos y nitratos.

Se desarrolla un test paramétrico de cada una de las variables químicas del agua que llega por la red de distribución municipal al punto de instalación del sistema, Y a las 120 horas se realizó nuevamente la prueba para conocer las condiciones iniciales del agua.

Se realizó un análisis energético teniendo en cuenta que el consumo eléctrico de la bomba, y el gasto de recursos hídricos y recursos energéticos usados comúnmente para la producción hidropónica y piscícola; para luego compararlos con los sistemas convencionales que funcionan actualmente en el país.

#### **6.4 Realización de pruebas a calidad del agua**

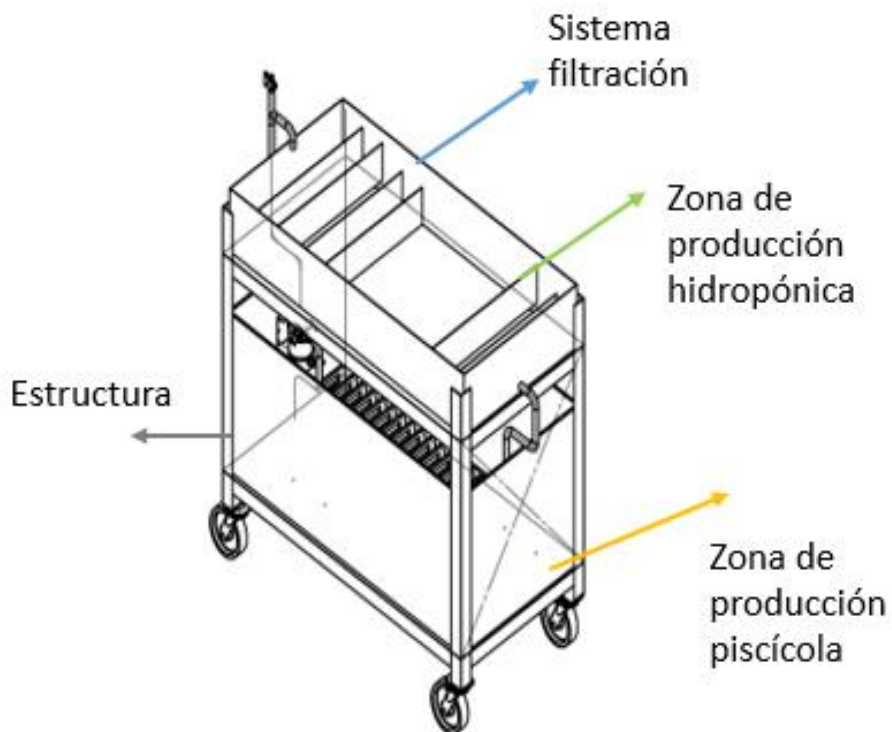
Se monitorea el desarrollo de la calidad de agua desde el primer día del ensamblaje del proyecto, con el fin de poder tener resultados visibles de la eficiencia paramétrica de los sistemas de filtración y con esto confirmar los supuestos bajo los cuales intentamos formar el proyecto, reducir el costo energético que presenta el cambio de agua constante para la reducción paramétrica y el desarrollo paralelo de formas de producción hidropónica que usaran los productos nitrogenados producidos como fertilizantes.

Se toma muestras del agua cada 5 días, y se tabulan y grafican los valores para poder observar de mejor forma su comportamiento, y poder analizar dichos valores con los rangos establecidos como óptimos para dichos procesos productivos; Para lo anterior usamos test paramétricos de la marca API.

## 7. Resultados y análisis

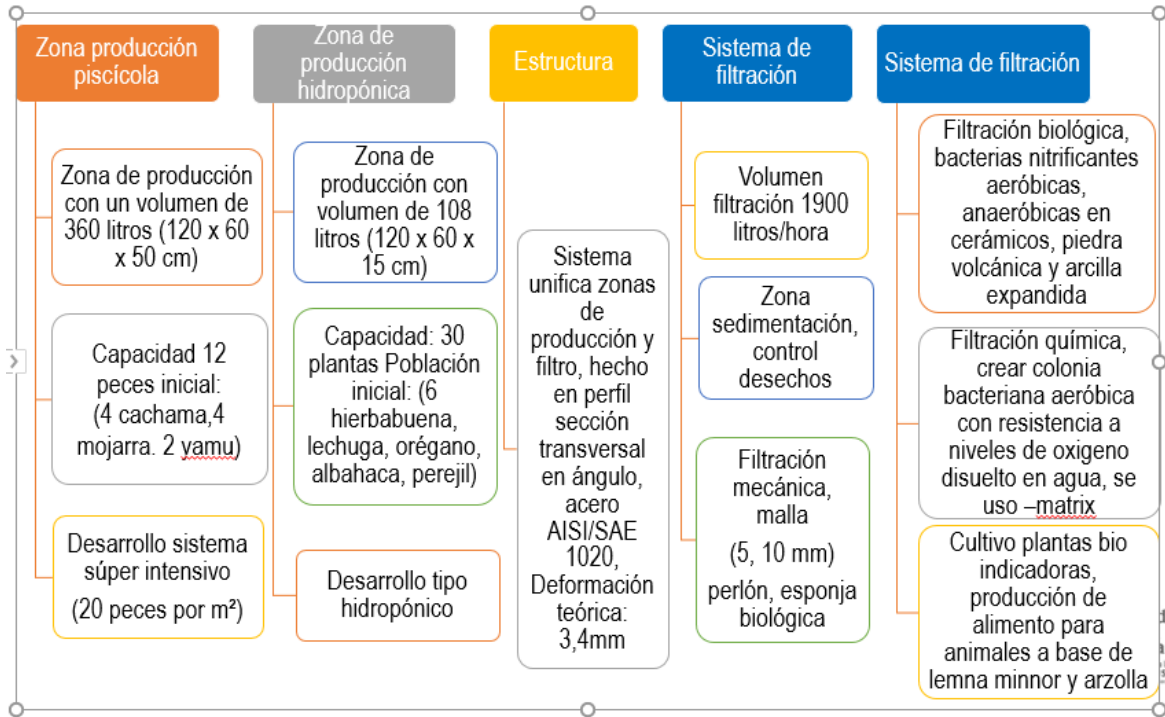
En la gráfica 1 se presenta un esquema general de los resultados obtenidos del proyecto. Para el diseño conceptual del sistema de producción alimentaria sostenible y circular se realizó en cuatro subsistemas. El subsistema zona de producción piscícola, el subsistema zona de producción hidropónica, el subsistema estructural y el subsistema zona de filtración.

*Gráfica 1: Diseño por subsistemas de sistema producción sostenible y circular*



En la gráfica 2 se presenta, las características del diseño conceptual de cada uno de los subsistemas que forman el sistema de producción alimentaria sostenible y circular, así como la capacidad total del sistema.

Gráfica 2: Esquema general de los resultados del proyecto



En el anexo A (memorial de cálculo), con los cálculos realizados del diseño, análisis estructural, cálculos hidráulicos y paramétricos de calidad del agua.

En la gráfica 3 se presenta el prototipo construido con sus subsistemas.

Gráfica 3: Diseño y construcción sistema de producción



En el anexo B (grafica 1-23) se presenta la secuencia de construcción del sistema de producción alimentaria sostenible y circular realizada para obtener el prototipo final.

### *Pruebas de funcionamiento*

El sistema de producción alimentaria sostenible y circular tiene varios subsistemas, un sistema estructural y un sistema de filtración con el fin de unificar una zona de producción piscícola con una hidroponica. Se desarrolló un sistema de filtración capaz de procesar los desechos de la zona de producción piscícola y convertirlos en fuente de nutrientes para la zona de producción hidroponica. Para producción piscícola se realizó un policultivo de 4 mojarra, 4 cachama, 2 yamu, y para la zona de filtración se plantó una población inicial de bacterias aerobias y anaerobias que después de un proceso de reproducción, serán los encargados de convertir el amoníaco en subproductos de nitrógeno de menor toxicidad, los nitratos que serán aprovechados por el cultivo hidroponico, tiene una población inicial de 30 plantas repartidos de igual forma en plantas de varios tipos (hierbabuena, orégano, albahaca, lechuga, perejil).

El sistema de producción alimentaria sostenible y circular tiene un diseño especial, al contar con un sistema de filtración de varias etapas, una etapa inicial de sedimentación para concentrar la mayor cantidad de desechos, una etapa de filtración mecánica constituida por mallas de varias granulometrías, capaz de retener todos los desechos que no se sedimentaron en la primera etapa, la tercera una etapa de filtración biológica, donde se reproducen las bacterias y darán lugar a los procesos químicos encargados de degradar el amoníaco a nitratos, por último una zona de filtración química indicada para medicar o retirar exceso de mineral usando materiales de procedencia sintética.

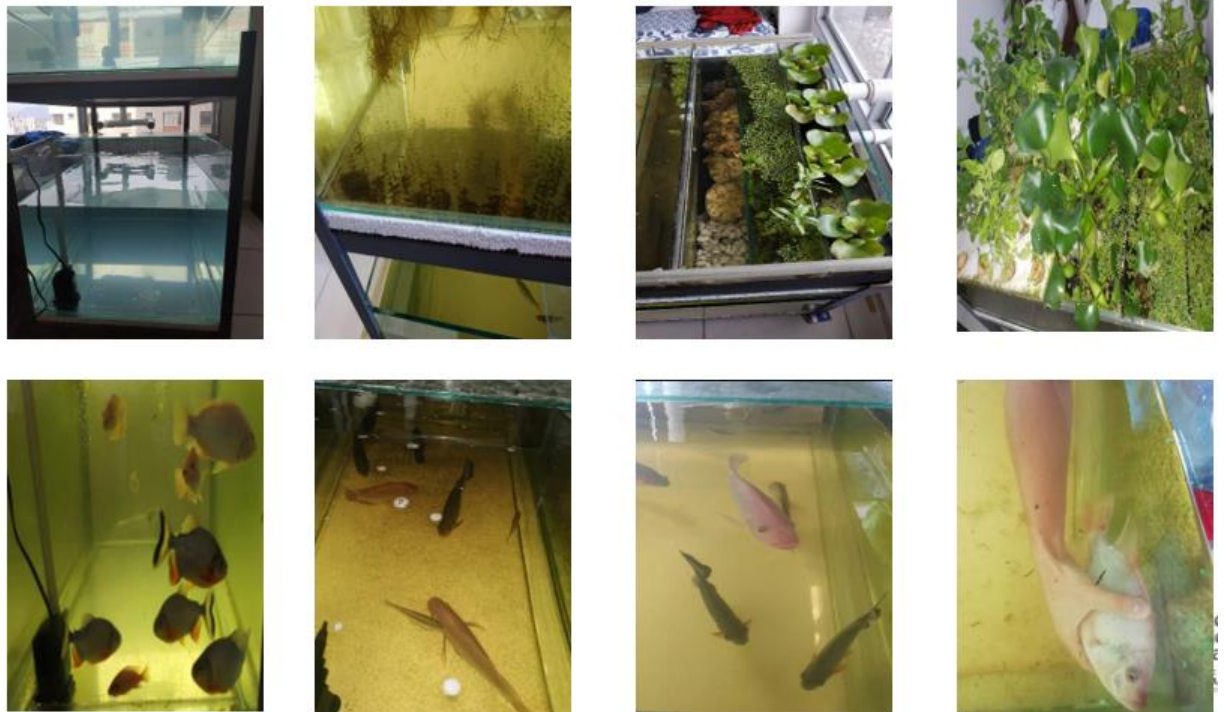
El subsistema de filtración a su vez cuenta con un sistema de recirculación capaz de mover entre 96 veces por día el volumen total del sistema de producción, esto impulsado por una bomba sumergible de marca Resun con caudal máximo de 2000l/h y cabeza 2m, y una zona de descarga con dos salidas. La instalación hidráulica construida en PVC sanitario a presión; Además, en la etapa de filtración biológica conformada por microorganismos y 5 tipos de plantas bioindicadores: Lemna minor, azolla, silvina biloba, Jacinto de agua y polysperma rosanervig.

El paso del fluido por todas estas etapas de filtración, permite disminuir los niveles de concentración de amoníaco y reducir los cambios parciales de volumen de agua del sistema, logrando reducir el consumo energético e hídrico comparado con los sistemas de producción convencionales.

Para el subsistema de producción piscícola se utilizó alimento concentrado comercial y fue complementado con alimento a base de las plantas bioindicadores.

En las Gráficas 4, se presentan el funcionamiento del sistema de producción alimentario sostenible y circular con sus cuatro subsistemas. El subsistema zona de producción piscícola, el subsistema zona de producción hidropónica, el subsistema estructural y el subsistema zona de filtración.

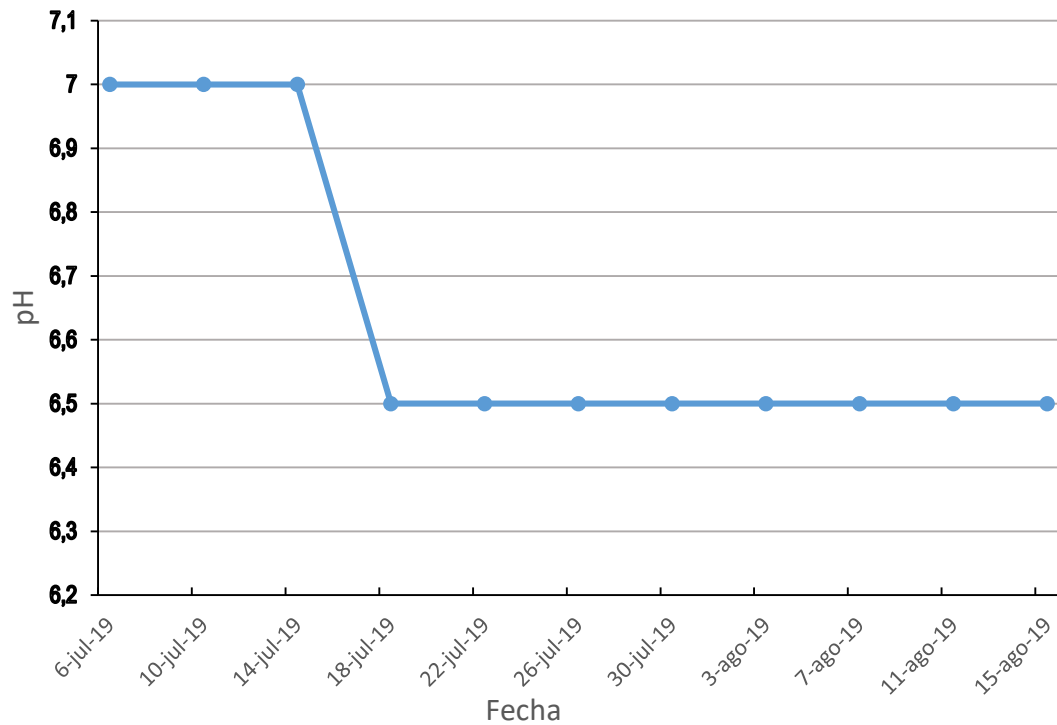
*Gráfica 4: Funcionamiento sistema de producción*



Se logró unificar los sistemas de producción de manera correcta, otorgar el suficiente contacto con el ambiente en la caída de agua y facilitar el intercambio gaseoso, así como se logró garantizar que pase 4 veces por hora el volumen total del sistema por el filtro.

Las pruebas de calidad de agua se realizaron a los 5 días de haber puesto en funcionamiento el sistema. La medición del pH se realizó de manera constante, tomando muestras cada 5 días y para analizar el comportamiento a lo largo del ciclo de producción como se muestra en la gráfica 5.

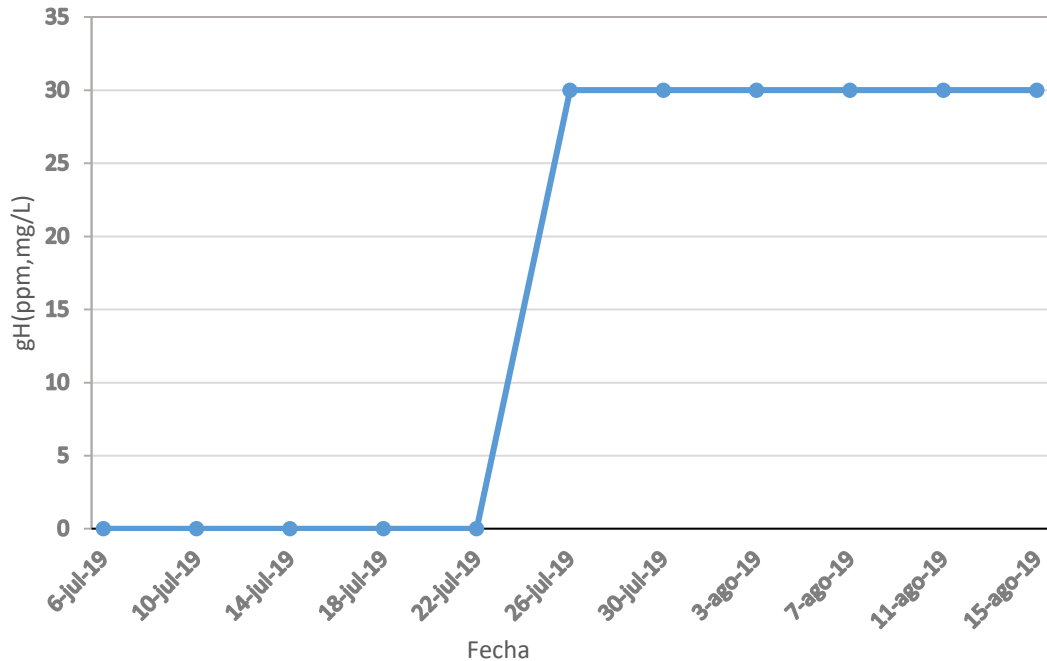
Gráfica 5: Comportamiento del pH en el tiempo



La grafica 5 muestra los valores permisibles para producción piscícola e hidropónica se encuentran entre 6 y 8, pudiendo notar como durante todas las mediciones se encuentra dentro del rango permitido. El control y manejo del pH es muy importante debido a las condiciones a las que viven las poblaciones sembradas. Se logra la estabilización de los valores medidos de forma posterior (10 días) a la estabilización de los valores de dureza, alcanzando un valor final de 6.5.

La concentración de iones de calcio y magnesio nos dan como resultado los valores de dureza, un valor estable evita fluctuaciones en el pH evitando problemas para los peces.

Gráfica 6: Comportamiento dureza general en el tiempo



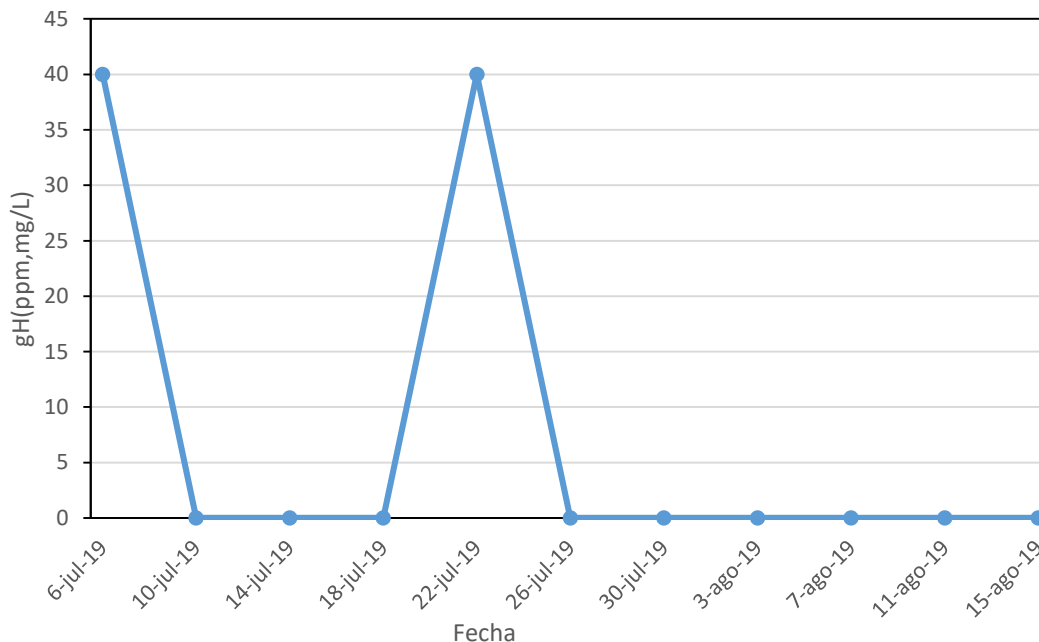
A lo largo del ciclo de producción se mantuvo en el rango permisible, además de alcanzar una estabilidad de medición óptima para lograr estabilidad (20 días) en el pH del sistema. Es importante estabilizar el valor de dureza general y evitar alteración en los valores de pH, logrando un efecto tapón (no varía pH).

Máxima permisible: 300mg/L

Mínimo permisible: 50mg/L

La concentración de carbonatos y bicarbonatos, ayuda a estabilizar el sistema acuático y ata minerales traza en el sistema. Alcanzar estabilidad en estas concentraciones evita fluctuaciones de ph.

*Gráfica 7: Comportamiento de dureza de carbonatos en el tiempo*



Peces de necesitan valores específicos para su óptimo desarrollo, durante el ciclo de producción no se sobrepasó el rango permisible. Conociendo los beneficios de regular las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos, se puede agregar que ayuda al aumento de conductividad eléctrica del sistema, ayudando a atar a minerales trazas importantes para el desarrollo del subsistema de producción hidropónica.

1 mes de llenado el sistema se alcanzan los niveles de estabilización causado posiblemente a la maduración de la colonia de microorganismos sembradas en el sistema de filtración.

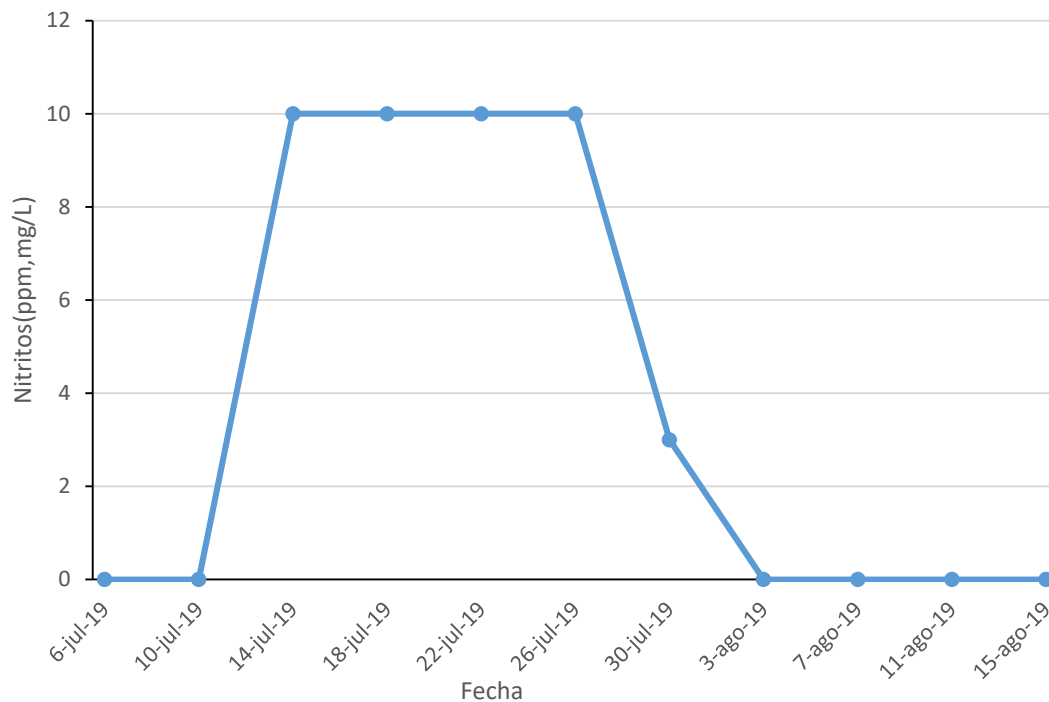
El pico de carbonatos y bicarbonatos (22-jul) puede ser atribuido a materiales minerales agregados al sistema durante el primero cambio parcial de agua.

Máximo permisible: 200mg/L

Mínimo permisible: 0mg/L

El primer subproducto que se obtiene del consumo por parte de la colonia bacteriana del amoniaco, siendo igualmente toxico, pero en concentraciones mayores, es gran forma de medir la madurez de la colonia bacteriana, así como su carga biológica, siendo el valor optimo 0 o lo más cercano a 0 posible.

Gráfica 8: Comportamiento de nitritos en el tiempo



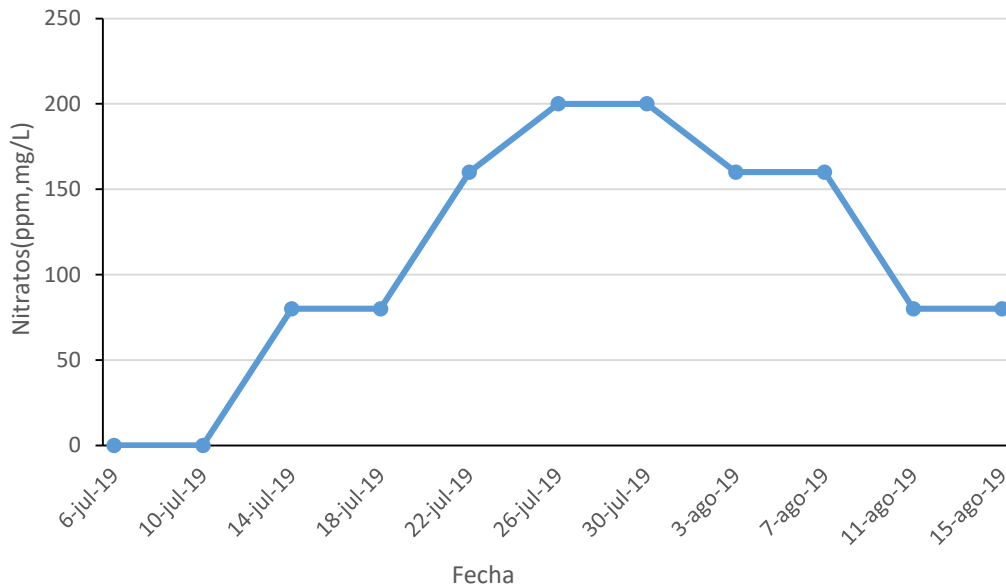
Durante el ciclo de producción se puede observar la forma en la que se acumulan estos subproductos (nitritos), hasta que la colonia bacteriana logra consumirlos en su totalidad. Durante el proceso productivo, se excedieron los valores permisivos. Los nitritos es el primer subproducto en que se convierte el amoniaco, es importante alcanzar un nivel de consumo del 100% y nunca permitir que sus niveles sean mayores a 0, todos los nitritos producidos serán consumidos por el sistema de filtración para ser convertido en nitratos.

Máximo permisible: 10mg/L

Mínimo permisible: 0mg/L

El producto final de nuestra cadena de filtración, subproducto del ciclo del nitrógeno, sigue siendo toxico, pero se necesita aun una concentración mucho mayor que con el nitrito, es la base que usaremos para fertilizar el cultivo hidropónico, por lo cual se debe monitorear y establecer la cantidad de plantas que pueden verse beneficiadas por este producto.

Gráfica 9: Comportamiento de nitratos en el tiempo



Se logró mantener en los rangos permisibles, logrando de manera posterior a la acumulación dada por la conversión del amoniaco y los nitritos, que las plantas empiecen a obtener dicho producto y baje la concentración del mismo en el agua, lista para reingresar al sistema de producción con una menor concentración de productos nitrogenados que la que salió inicialmente.

Se observa un tiempo de acumulación por falta de carga biológica capaz de asimilar tanta concentración, pero posteriormente se aumenta el poder de conversión del sistema de filtración (logrando además la liberación de forma gaseosa), y el correcto consumo del mismo por las plantas cultivadas en la zona de producción piscícola.

Siempre hubo disponibilidad de nitratos (alimento plantas).

Máximo permisible: 200mg/L

Mínimo permisible: 0mg/L

### *Consumo eléctrico*

El consumo eléctrico este sujeto al consumo de la bomba

$P_{elec}=25W$

Tiempo de uso= 24 horas por 30 días

$T_{uso}=720h/mes$

Consumo mes= 0.025Kw(720h/mes)

$C_{mes} = 18Kw/mes$

$$C_{mes} = P_{ele} * T_{uso}$$

$$C_{mes} = 0.025 * 720 = 18Kw/mes$$

Teniendo en cuenta que el prototipo está ubicado en zona residencial de cabecera en la ciudad de Bucaramanga, estrato cinco con un coste de energía por 489,71 pesos/KW

Coste mes= 8814.78 pesos/mes

$$coste\ mes = C_{mes} * costo\ energia(\text{pesos}/mes)$$

$$costo\ mes = 18 * 489,71 = 8814,78(\text{pesos}/mes)$$

Teniendo en cuenta que el ciclo de producción de las especies validadoras es cercano a 6 meses, calculamos el consumo para el total de tiempo de producción

Coste total= 8814.78\*6=52888,68 Pesos

$$Coste\ total = Coste\ mes * meses$$

$$Coste\ total = 8814,78(\text{pesos}/mes) * 6(meses) = 52888,68Pesos$$

### *Consumo hídrico*

Se debe tener en consideración, se necesita un tiempo inicial de maduración de la urna y el desarrollo de la colonia bacteriana aeróbica y anaeróbica encargadas de la degradación del amonio y productos del nitrógeno, en el primer mes del sistema se realizan cambios parcial del doble del volumen recomendado para el desarrollo común del sistema en tiempo posterior, esto debido a que los productos de nitrógeno aumentan y la colonia aún no tiene la carga biológica suficiente para procesarlos, al contrario después de la maduración del estanque no se debe exceder más de lo indicado en los cambios parciales porque con esto retiramos de más aquellas sustancias que se necesitan para el desarrollo del sistema hidropónico.

Además, tener en cuenta que el agua de cambio parcial no es el total del volumen de agua extraída, es el total del agua ingresada al sistema, ya que debemos tener en cuenta que se pierde parte de la misma por evaporación o por el propio consumo de los peces y las plantas, como se observa en la tabla 5.

*Tabla 5. Consumo hídrico*

Mes (parcial)	Volumen ingresado (litros)	Porcentaje Vs total (%)
1 (1)	42	10
1 (2)	42	10
2(1)	21	5
2(2)	21	5
3(1)	21	5
3(2)	21	5
4(1)	21	5
4(2)	21	5
5(1)	21	5
5(2)	21	5
6(1)	21	5
6(2)	21	5

Un cambio parcial es una cantidad de líquido comprendida entre el agua extraída por limpieza del depósito de sedimentación, consumo de plantas y peces, y evaporación, y se realiza de manera periódica cada 15 días.

Con lo anterior podemos definir el consumo total para el fin del ciclo productivo establecido a 6 meses, y obtenemos que el consumo será de 294 litros.

$$\text{consumo total} = \sum \text{volumen ingresado}$$

$$\text{consumo total} = 42 + 42 + 21 + 21 + 21 + 21 + 21 + 21 + 21 + 21 + 21 + 21 = 249L$$

• Consumo hídrico producción hidropónica.

El consumo es la cantidad de reingreso al sistema que para los casos parcial después de madura la urna es de 42 litros al mes, para los 0.42m<sup>2</sup> cultivados.

Valores convencionales del consumo hídrico en la zona de producción hidropónica

Para el consumo hídrico de plantas según bibliografía consultada para el tipo de plantas con las que validamos el sistema están en un rango de consumo de 2-4L/m<sup>2</sup> por día, con lo cual sería al mes entre 60-120L/m<sup>2</sup>, para el caso de los 0.42m<sup>2</sup> cultivados el consumo debería estar en un rango aproximado de 25.2-50.4L/mes.

Consumo hídrico peces

Figure 8. Capacidad de carga de mojarra de acuerdo al % de recambio de agua al día

MAXIMA CAPACIDAD DE CARGA DE TILAPIA Ó MOJARRA DE ACUERDO AL % DE RECAMBIO DE AGUA / DIA							
FASES	Rangos de Peso en gr	Kg de Mojarra por m <sup>2</sup> E. A.*	No Peces por m <sup>2</sup>	% Recambio de Agua/día	Nivel de Recambio	Duración en Días	Tipo de Alimento
Cría	1 a 80	1.0 Kg / m <sup>2</sup>	12,5	5 a 10 %	Bajo	95	Agrinal Tilapia 45 Mash Agrinal Tilapia 45 Extrud Agrinal Tilapia 38 Extrud
Pre-Engorde	80 a 350	2.0 Kg / m <sup>2</sup>	5,7	15 a 20%	Medio	95	AGN Tilapia 30 / 24 Extrud
Engorde	350 > 500	2.0 Kg / m <sup>2</sup>	3,7	25 a 30%	Medio-Alto	80 Aprox.	AGN Tilapia 24 Extrud

Fuente: tomado de [14]

Para los cálculos valido torio se establece un ciclo productivo de 6 meses, teniendo en cuenta que en el ámbito comercial ya se distribuyen tilapias y cachamas de 300gr para consumo comercial.

Se estableció con las tasas de recambio ideales para sistemas convencionales valores para consumo hídrico, en la etapa de cría que corresponde a los primeros 80 días del ciclo tendríamos consumos entre 1680 y 3360 litros, y para la siguiente etapa que, representada los siguientes 100 días en ciclo de engorde, un consumo entre 6300 y 8400 litros, teniendo como consumo total valores entre los 7980 y 11760 litros en los 6 meses.

$$\text{consumo}_{\min} \text{ cria} = 1680L$$

$$\text{consumo}_{\max} \text{ cria} = 3360L$$

$$\text{consumo}_{\min} \text{Pre} - \text{engorde} = 6300L$$

$$\text{consumo}_{\max} \text{Pre} - \text{engorde} = 8400L$$

$$\text{consumo}_{\min} \text{ total} = \text{consumo}_{\min} \text{ cria} + \text{consumo}_{\min} \text{Pre} - \text{engorde}$$

$$\text{consumo}_{\min} \text{ total} = 1680 + 6300 = 7980L$$

$$\text{consumo}_{\max} \text{ total} = \text{consumo}_{\max} \text{ cria} + \text{consumo}_{\max} \text{Pre} - \text{engorde}$$

$$\text{consumo}_{\max} \text{ total} = 3360 + 8400 = 11760L$$

### *Consumo eléctrico*

El consumo eléctrico representa un valor significativo, aunque sufrirá variaciones dependiendo del lugar de ubicación del sistema. Los sistemas convencionales al no contar con un sistema de recirculación adecuada utilizan sistemas alternos de oxigenación del agua para aumentar el oxígeno disuelto en la misma, para esto utilizan una bomba de oxigenación que se usara de igual forma el 100% del tiempo que se encuentre en funcionamiento el sistema y tendrá por lo general una potencia igual a la potencia calculada para el sistema de bombeo, con lo cual para un sistema de producción convencional tendríamos un consumo eléctrico cercano a 17629.56 pesos al mes y de 105777.36 pesos al final de los 6 meses de producción piscícola.

Comparación Sistema de producción alimentaria sostenible y circular con respecto a los sistemas de producción convencionales.

Tabla 6. Consumo eléctrico

Ítem	Sistema de producción alimentaria sostenible y circular	Sistema de producción convencional piscícola	Sistema de producción convencional de hortalizas
Tipo	Policultivo e hidroponía	Estanque	Invernadero
intensidad	Súper intensiva	Intensiva	X
Consumo eléctrico	52888,68 Pesos	105777.36 pesos	X
Consumo hídrico	294 litros	7980-11760 Litros	151.2-252.4 Litros

Comparando el consumo eléctrico entre los dos sistemas de producción se obtiene un ahorro considerable por valor de 52888.68 Pesos en el ciclo productivo de 6 meses.

Comparando el consumo hídrico entre los dos sistemas de producción obtenemos un ahorro considerable entre los rangos de 8131.2 y 12012.4 litros de agua, en el ciclo productivo de 6 meses.

## 8. Conclusiones y recomendaciones

- Se diseñó y construyó un sistema de cultivo piscícola con capacidad de 360 litros, a su vez un sistema de producción hidropónico con 108 litros de capacidad.
- El 95% de las plántulas sembradas fueron cosechadas satisfactoriamente y el 100% de los alevines sembrados lograron desarrollarse.
- Se logró obtener en policultivos, una reducción de los ciclos de producción de la cachama (a 5 meses) y tilapia (7 meses), para alcanzar el peso comercial.
- Además, se obtuvo (1lb semanal) paralelamente alimento animal con alto contenido de proteína a base de azolla y lemna minor, plantas usadas como indicadores biológicos.
- Se consiguió reducir el consumo energético en un 50%(\$52888,68), comparando los sistemas convencionales no tecnificados Vs el sistema de producción alimentaria sostenible y circular.
- Se obtuvo una reducción considerable de recursos hídricos que ascienden a valores entre el 96.3 y 97.5% (7837.2-11718.4 litros) por ciclo productivo piscícola que corresponde a 6 meses y 4 ciclos de producción hidropónica.
- La recirculación de 4 veces del volumen total por hora, fue suficiente para mantener la calidad del agua necesaria para las zonas de producción piscícola e hidropónica, y microorganismos.

## 9. Recomendaciones

- Se recomienda escoger de manera adecuada el lugar de instalación del sistema, debido a que se necesita luz tanto para los ciclos fotosintéticos de las plantas como para la correcta forma de desarrollo de los peces.
- Se debe tener muy en cuenta la temperatura ambiental a la que estará expuesta el sistema y poder de esta manera escoger de la manera correcta tanto el tipo de peces como de plantas.
- Se recomienda poner en funcionamiento el sistema sin peces, ni plantas durante un periodo inicial que comprenda entre 20-30 días, solo se debe agregar un poco de comida para pez o una fuente alterna de amonio, para fomentar el desarrollo de la colonia de bacterias nitrificantes, sin embargo, este tiempo también se puede ver reducido con el uso de productos comerciales que ayudan al asentamiento de dichas bacterias.
- Usar plantas flotantes y emergidas, para ayudar al consumo de productos nitrogenados, además de servir de advertencia ante cualquier cambio brusco en los parámetros del agua.
- Aplicar análisis paramétrico al agua de la red, para conocer el agua que se le aplicara al sistema en cada cambio parcial.

## 10. Referencia

- [1]. HERNANDEZ ARROYO, Emil; Maquinas hidráulicas, bombas centrifugas. 2da edición: Universidad pontificia bolivariana. 2015.
- [2]. SOLORZANO, Ricardo. Principios ingenieriles básicos- bombas hidráulicas. [En línea]. Estados Unidos: Hydraulics & Neumatics, 2016. [Consultado 2 de agosto del 2019]. Disponible en internet: <https://www.hydraulicspneumatics.com/blog/principios-ingenieriles-b-sicos-bombas-hidr-ulicas>.
- [3]. Bomba hidráulica. En Wikipedia. Recuperado el 2 de agosto del 2019. Disponible en internet: [https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_hidr%C3%A1ulica](https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_hidr%C3%A1ulica).
- [4]. AISI/SAE 1020. [En línea]. Colombia: Ferrocortes S.A.S, 2015. [Consultado 02 de agosto del 2019]. Disponible en internet: <http://www.ferrocortes.com.co/aisi-sae-1020/>.
- [5]. Tipos de siliconas y sus usos. [En línea]. España: TEMINSA, 2019. [Consultado 02 de agosto de 2019]. Disponible en internet: <https://www.teminsa.com/blog/tipos-de-siliconas-y-sus-usos/>.
- [6] ASKELAND, Donal R., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Sexta edición: Thomson Editores. México, 1998.
- [7] Laboratorio de producción; Protocolo fatiga, curso de materiales. Edición 2011-2: Escuela Colombiana de ingeniería julio Garavito. [En línea]. Consultado el 02 de agosto de 2019. Disponible en internet: [https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2542\\_fatiga.pdf](https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2542_fatiga.pdf)
- [8] ASKELAND, Donal R., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Séptima edición: Thomson Editores. México, 2016.
- [9]. Construpedia. En construmatica. Recuperado el 02 de agosto de 2019. Disponible en internet: <https://www.construmatica.com/construpedia/Soldadura>.
- [10]. FRETES, francisco; Plantas medicinales y aromáticas, una alternativa de producción comercial. Edicion mayo 2010. Gobierno de los Estados unidos para el desarrollo internacional(USAID). [En línea]. Consultado el 02 de agosto de 2019. Disponible en internet: [https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/plantas\\_medicinales.pdf](https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/plantas_medicinales.pdf)

[11]. DANDO, gloria; Hortalizas de hoja. Universidad nacional entre ríos. [En línea]. Consultado 02 de agosto de 2019. Disponible en internet: [http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/horticultura/hortalizas\\_de\\_hoja.pdf](http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/horticultura/hortalizas_de_hoja.pdf)

[12]. MERINO, maria; SALAZAR, Gustavo; GOMEZ, diana; Guía practica de piscicultura en Colombia. Edición 2006. República de Colombia, ministerio de agricultura y desarrollo rural. [En línea]. Consultado el 02 de agosto de 2019. Disponible en internet: <https://www.aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Guia-Practica-de-Piscicultura-en-Colombia.pdf>

[13]. manual pruebas Api

[14]. GUERRERO, Jaime; capacidad de carga Vs. Calidad de agua en acuicultura. Edición septiembre de 2012: Agrinal Colombia S.A.S. [En línea]. Consultado el 02 de agosto de 2019. Disponible en internet: <https://www.solla.com/sites/default/files/productos/secciones/adjuntos/2Capacidad%20de%20Carga%20vs%20calidad%20del%20agua%20Jaime%20Guerrero.pdf>

[15]. Alianza norte con el Heraldo 22 marzo de 2015, La agricultura consume el 70% de agua del mundo. Revista Heraldo [online]. <https://www.elheraldo.co/economia/la-agricultura-consume-el-70-del-agua-en-el-mundo-188535>.

[16]. DORNBUSCH, Rudiger; FISHER, Stanley; STARTZ, Richard. Macroeconomía. Octava Edición. Mc Graw Hill. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2013).

[17]. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/aquaculture-defs.htm>

[18]. INTAGRI. 2017. La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. Serie Horticultura Protegida. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>

[19]. INTAGRI. 2017. Acuaponia para la Producción de Plantas y Peces. Serie Horticultura Protegida Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces>

[20] Zootecnia. 2018. Sistema de filtración. (online, revista) <http://www.zootecniadomestica.com/filtracion-mecanica-quimica-y-biologica/>

[21] Mario esteban Muñoz, sistemas de recirculación. file:///C:/Users/mecanica/Downloads/36-41-1-PB.pdf

[22]. Inca. S. S. 2013. Automatización y Control del Sistema NFT para Cultivos Hidropónicos. Tesis de Licenciatura. Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú. 112 p

[23]. Lacarra A. G.; & García C. S. 2011. Validación de Cinco Sistemas Hidropónicos para la Producción de Jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) y Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en Invernadero. Trabajo de Experiencia Recepcional. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 52 p.

[24]. Morales V. B. 2004. Producción de Hortalizas bajo Sistemas Hidropónicos, Técnica de la Película de Nutriente (NFT) y Cama de Agua. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 111 p.

[25] Santos A. *Resistencia de materiales*. Universidad pontificia bolivariana. 1era ed. Bucaramanga: mayo 2013

[26]. Sara Patricia Bonilla Directora Ejecutiva FEDEACUA septiembre 24 de 2014 II Foro Economico De Cultivo De Tilapia Y I Foro De Pesca Y Acuicultura.

**Anexo A**

## Memorial de calculo

$V_t =$  Volumen total

$V_p =$  Volumen zona de cultivo piscicola

$V_h =$  Volumen zona de cultivo hidroponica

$Q =$  caudal

$A =$  Area de tuberia de impulsion

$v =$  Velocidad del fluido

$Re =$  Numero de reynolds

$\rho =$  Densidad del fluido

$D =$  Diametro de la tuberia a traves de la cual circula el fluido

$\mu =$  Viscosidad dinamica del fluido

$\nu =$  Viscosidad cinematica del fluido

$\varepsilon =$  Rugosidad

$f =$  Factor de Darcy

$h_f =$  Perdidas de carga mayores

$h_l =$  Perdidas de carga menores

$k =$  Coeficiente de friccion de accesorior tuberia

$H_m =$  Altura manometrica

$P_h =$  Potencia hidraulica

$P_{ab} =$  Potencia absorbida

$\pi =$  PI

$M_{max} =$  Momento maximo

$w =$  carga

$l = \text{longitud}$

$F_s = \text{Factor de diseño o Factor de seguridad.}$

$F_{disp} = \text{Fuerza disponible}$

$F_{ult} = \text{Fuerza ultima}$

$M = \text{Momento}$

$A_y = \text{Fuerza de emprotamiento}$

$B_y = \text{Fuerza de emprotamiento}$

$E = \text{Modulo de elasticidad}$

$I = \text{Momento de inercia}$

$b = \text{base del perfil de la barra}$

$a = \text{Altura del perfil de la barra}$

$y = \text{Deformacion}$

$C_1 = \text{Constante}$

$C_2 = \text{Constante}$

$\nabla = \text{Esfuerzo}$

$C = \text{Centroide}$

#### A1. Volumen total sistema

Se estableció el espacio disponible y se calculó el volumen total del Sistema

$$V_p = (120)(50)(60) = 360000 \text{ cm}^3$$

$$V_h = (120)(60)(15) = 108000 \text{ cm}^3$$

$$V_t = 360000 + 108000 = 468000 \text{ cm}^3 = 468L$$

#### A2. Caudal de recirculación

Para lograr alcanzar la eficiencia deseada por el sistema de filtración debemos garantizar que el caudal de recirculación sea de al menos 4 veces el volumen total del sistema por hora

$$Q = (4)(468) = \frac{1872L}{h}$$

### A3. Velocidad de impulsión

Se calculó el área de la tubería y conociendo el caudal pudimos calcular el valor para la velocidad de salida, recordar que se deben garantizar no exceder la velocidad del fluido para evitar cavitación.

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$A = \pi r^2 = (\pi)(9,5 \times 10^{-3})^2 = 2,83528737 \times 10^{-4} m^2$$

$$v = \frac{1,834029261 m}{s}$$

### A4. Numero de Reynolds

El fluido que maneja el sistema de producción es agua y por consiguiente se usaran los valores establecidos como estándar para este fluido.

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} = \frac{(997)(0,019)(0,9170146305)}{(0,000798)} = 21768,18$$

Flujo turbulento

$$\varepsilon = 0,0015 mm$$

$$\varepsilon = \frac{e}{D} = \frac{0,0015}{19} = 7,894736842 \times 10^{-5} mm$$

Rugosidad de la tubería de PVC sanitaria

### A5. Factor de Darcy

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{1}{(3,7) \left( \frac{19}{0,0015} \right)} + \frac{5,74}{(21768,18)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,02547961488$$

## A6. Perdidas mayores

$$hf = \frac{fv^2}{2g} \left( \frac{L}{D} \right)$$

$$hf_{imp} = (0,02547961488) \left( \frac{0,9}{0,019} \right) \left( \frac{(0,9170146305)^2}{(2)(9,80665)} \right) = 0,05174681521 \text{ m}$$

$$hf_{asp} = (0,02547961488) \left( \frac{0,2}{0,019} \right) \left( \frac{(0,9170146305)^2}{(2)(9,80665)} \right) = 0,01149929227 \text{ m}$$

## A7. Perdidas menores

$$hl = k \frac{v^2}{2g}$$

Nombre	aspiración	impulsión	Coeficiente k
codo	1	3	0.9
T	0	1	0.9
Válvula check	0	1	2.5
Válvula cierre	0	1	10

$$hl_{imp} = (2,7 + 2,5 + 0,9 + 10) \left( \frac{(0,91706146305)^2}{(2)(9,80665)} \right) = 0,3044109054 \text{ m}$$

$$hl_{asp} = (0,9) \left( \frac{(0,9170146305)^2}{(2)(9,80665)} \right) = 0,03858729787 \text{ m}$$

## A8. Pérdidas totales

$$Per_{imp} = 0,3044109054 + 0,05174681521 = 0,3561577206 \text{ m}$$

$$Per_{asp} = 0,03858729787 + 0,01149929277 = 0,05008659064 \text{ m}$$

## A9. Calculo de cabeza o altura neta

Calcular el valor total de cabeza o presión necesario en el equipo de bombeo, así mismo conociendo el caudal total, podemos escoger apropiadamente el equipo de bombeo.

$$H_m = H_a + h_{fasp} + H_i + h_{fimp} = 0,9 + 0,05008659064 + 0,2 + 0,3561577206 \\ = 1,506244311 \text{ m}$$

## A10. Potencia hidráulica

$$P_h = \gamma Q H_m = (1,506244311)(0,00052)(9770) = 7,652323598 \text{ W}$$

## A11. Potencia absorbida

$$P_{ab} = \frac{P_h}{\eta} = \frac{7,652323598}{0,70} = 13,66486357 \text{ W}$$

## A12. Cálculos de Momento máximo por formula

Formula del momento máximo

$$M_{max} = \frac{w * l^2}{8} = \frac{8,28 * 1,2^2}{8} = 1,49 \text{ KN} * \text{m} = 1490 \text{ N} * \text{m}$$

## A13. Factor de seguridad o factor de diseño para una estructura bajo carga estática.

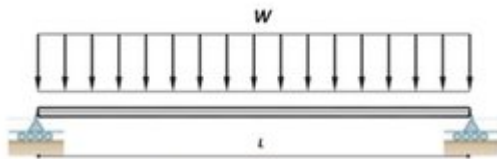
Factor de seguridad = 2

$$F_s = \frac{F_{ult}}{F_{disponible}}$$

$$F_{ult} = \text{Factor de seguridad} * F_{disponible} = 4.14 * 2 = 8.28 \text{ KN} * \text{m}$$

## A14. Análisis estático

Se calcula los apoyos para realizar un corte a una distancia x para realizar la respectiva sumatoria de fuerza y de momento.



$$w = F_{\text{disponible}} = 4140$$

$$P = 422 \text{ kg}$$

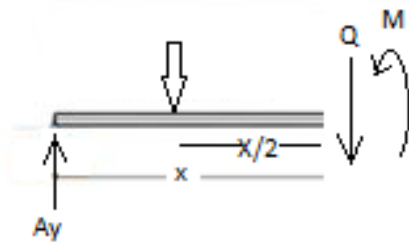
$$\text{Distancia} = 1.2 \text{ m}$$

$$w = p * g$$

$$w = 422 * 9,81 = 4140 \text{ N}$$

$$A_y = B_y = \frac{F * d}{2} = \frac{8280 * 1.2}{2} = 4968 \text{ N} * \text{m} = 4.97 \text{ KN} * \text{m}$$

Corte a una distancia X haciendo el corte se produce un momento y cortante.



Sentido horario positivo

$$\curvearrowright + \sum M = 0$$

$$A_y * x - 8.28 * x * \frac{x}{2} - M = 0$$

$$4.97 * x - \frac{8.28 * x^2}{2} = M$$

*evaluamos*

$$X = 0 \quad M = 0$$

$$X = 1.2 \quad M = 0$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$A_y - 8.28 * x - Q = 0$$

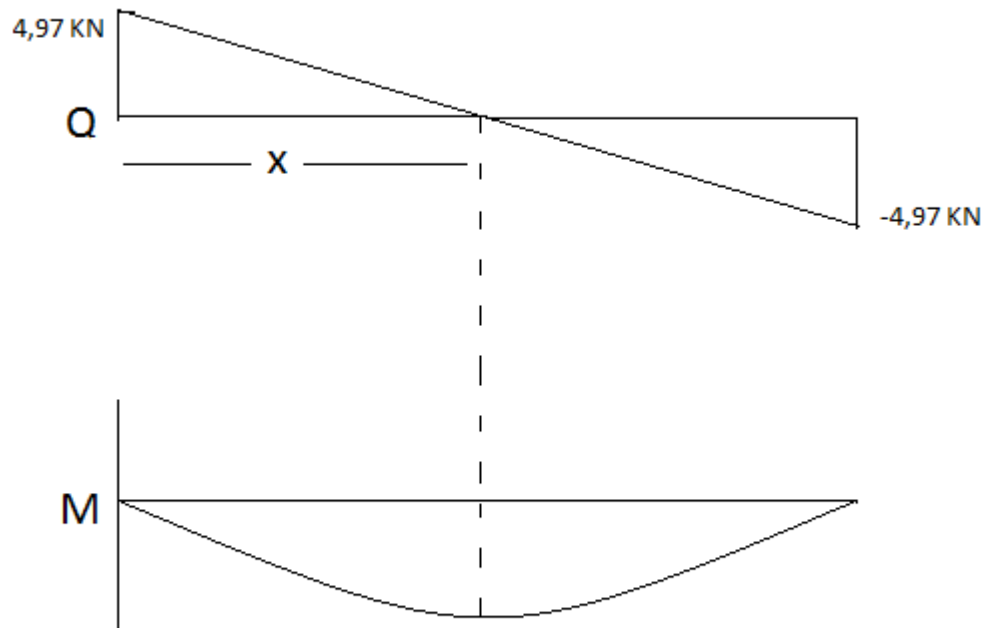
$$4.97 - 8.28 * x = Q$$

*evaluamos*

$$x = 0 \quad Q = 4,97$$

$$x = 1.2 \quad Q = -4,97$$

*Gráfica*



El momento máximo es cuando el cortante sea igual a cero.

$$M_{max} \rightarrow Q = 0$$

$$Q = 4,97 - 8.28 * x$$

$$Q = 0$$

$$0 = 4,97 - 8.28 * x$$

$$x = \frac{4,97}{8.28}$$

$$X = 0.59 \approx 0.6$$

Remplazar x por el valor de 0.6 que a esa distancia es donde el corte es igual a cero.

*evaluamos el momento donde X = 0.6*

$$M_{max} = 4.97 * 0.6 - \frac{8.28 * 0.6^2}{2}$$

$$M_{max} = 1.49kN * m = 1492N * m$$

#### A15. Deformación de la barra

Para calcular la deformación se hizo de dos maneras que darán el mismo resultado una es por medio de la formula y la otra es aplicando la doble integral, para aplicar cualquiera de los dos formas debemos conocer el módulo de elasticidad y momento de inercia.

$$E * I * y = - \frac{W * l^4 * 5}{384}$$

$$y = - \frac{W * l^4 * 5}{384 * E * I}$$

Y=deformación; E=módulo de elasticidad; I=momento de inercia; W= carga; L=longitud

#### A16. Momento de inercia

Se calcula el momento de inercia para un perfil cuadrado.

$$I = \frac{b * a^3}{12} = \frac{0.04445 * 0.04445^3}{12} = 3.25 * 10^{-7} m^4$$

$$E = 2 * 10^{11} Pa$$

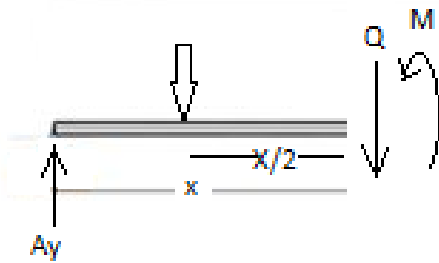
Remplazar en la fórmula para encontrar la deformación de la barra.

$$y = - \frac{8280 * 1.2^4 * 5}{384 * (2 * 10^{11}) * (3.25 * 10^{-7})} = -3.44 * 10^3 (m) = -3.439(mm)$$

## A16. Análisis de deformación usando la doble integral

Hacemos el análisis estático realizado anteriormente reemplazando el momento por una ecuación por eso debemos hacer nuevamente el análisis estático.

$$E * I * \frac{d^2 y}{d^2 x} = M$$



$$+\sum M = 0$$

$$A_y * x - 8.28 * x * \frac{x}{2} - M = 0$$

$$4.97 * x - \frac{8.28 * x^2}{2} = M$$

Al tener ya la ecuación integramos dos veces para obtener la deformación.

$$E * I * \frac{d^2 y}{d^2 x} = 4.97 * x - \frac{8.28 * x^2}{2}$$

$$E * I * \int \frac{d^2 y}{d^2 x} = \int 4.97 * x - \frac{8.28 * x^2}{2}$$

$$E * I * \frac{dy}{dx} = \frac{4.97 * x^2}{2} - \frac{8.28 * x^3}{6} + C1$$

$$E * I * \int \frac{dy}{dx} = \int \frac{4.97 * x^2}{2} - \frac{8.28 * x^3}{6} + C1$$

$$E * I * y = \frac{4.97 * x^3}{6} - \frac{8.28 * x^4}{24} + C1 * x + C2$$

se evaluo

$$x = 0, y = 0 \quad C2 = 0$$

$$E * I * y = \frac{4.97 * x^3}{6} - \frac{8.28 * x^4}{24} + C1 * x + 0$$

$$x = 1.2 \quad y = 0 \quad C1 \neq 0$$

$$0 = \frac{4.97 * 1.2^3}{6} - \frac{8.28 * 1.2^4}{24} + C1 * x$$

$$0 = 1.43 - 0.72 + C1 * 1.2$$

$$-\frac{0.71}{1.2} = C1$$

$$-0.592 = C1$$

$$E * I * y = \frac{4.97 * x^3}{6} - \frac{8.28 * x^4}{24} - 0.592 * x$$

analizamos la distancia donde el cortante es 0,  $X = 0.6$

$$E * I * y = \frac{4.97 * 0.6^3}{6} - \frac{8.28 * 0.6^4}{24} - 0.592 * 0.6$$

$$E * I * y = -0.221 \text{KN} * m$$

$$y = \frac{-221 \text{N} * m}{E * I}$$

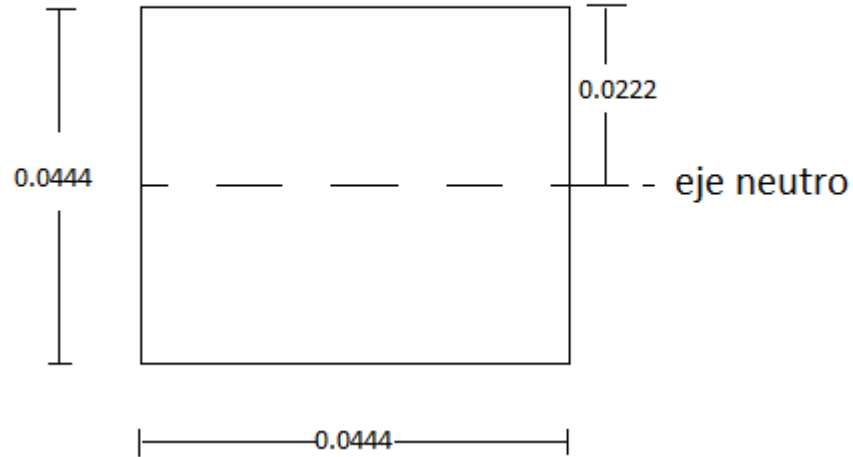
$$y = \frac{-221 \text{N} * m}{2 * 10^{11} * 3.25 * 10^{-7}} = 3.4 * 10^{-3} m = 3.4 \text{mm}$$

A17. Analisis de esfuerzo a tensión y compresión.

Para calcular el esfuerzo es necesario saber el cencroide ya que conocemos el momento de inercia.

Cálculos de esfuerzo

$$\nabla = \frac{M * C}{I}$$



A=0.0888	y=0.0222	Ay=0.0888
----------	----------	-----------

Eje neutro

$$Y = \frac{\sum Ay}{\sum A} = 0.0222m$$

$$I = \frac{b * a^3}{12} = \frac{0.0444 * 0.0444^3}{12} = 3.25 * 10^{-7}m^4$$

Esfuerzo máximo a tensión

$$\nabla_{\text{tension}} = \frac{M * C}{I} = \frac{1490N * m * 0.0222m}{3.25 * 10^{-7}m^4} = 132.52 * 10^6 \frac{N}{m^2} = 132.52 * 10^6 Pa$$

Esfuerzo máximo a compresión

$$\begin{aligned} \nabla_{\text{compresion}} &= -\frac{M * C}{I} = -\frac{745N * m * 0.0254m}{5.55 * 10^{-7}m^4} = -132.52 * 10^6 \frac{N}{m^2} \\ &= -132.52 * 10^6 Pa \end{aligned}$$

## Anexo B

### Imágenes de construcción

A continuación, se presenta una recopilación de fotografías como evidencia del proceso de fabricación, cría y medición paramétrica del sistema.

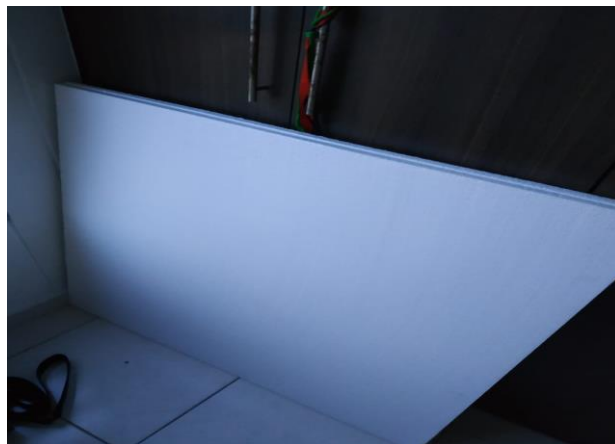
#### B1. Estructura

*Gráfica 10: Construcción de estructura*

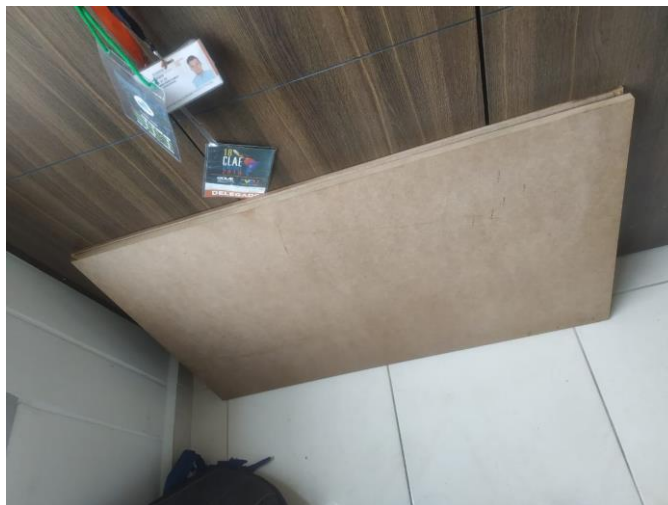


#### B2. Laminas polietileno expandido y aglomerado

*Gráfica 11: Lamina de poliuretano expandido*



*Gráfica 12: Lamina de aglomerado*



*Gráfica 13: Instalación de bases*



B3. Vidrio (cortes y uniones)

*Gráfica 14: Presentación de los cortes*



*Gráfica 15: Presentación de los cortes*



*Gráfica 16: Unión de vidrios en la zona de cultivo piscícola*



*Gráfica 17: Unión de vidrios zona de cultivo hidropónico y filtro*



B4. Bomba y tubería

*Gráfica 18: Bomba y tubería*



*Gráfica 19: Unión de tuberías de descarga*



Gráfica 20: Instalación de tubería y protección final anti cortes



B5. Puesta a punto y filtro

Gráfica 21: Puesta a punto del filtro



*Gráfica 22: Puesta a punto del filtro*



*Gráfica 23: Puesta a punto de zona de cultivo piscícola*



Gráfica 24: Puesta a punto del sistema y verificación de fugas



Gráfica 25: Instalación de materiales filtrantes (mecánicos)



Gráfica 26: Verificación de zona de descarga



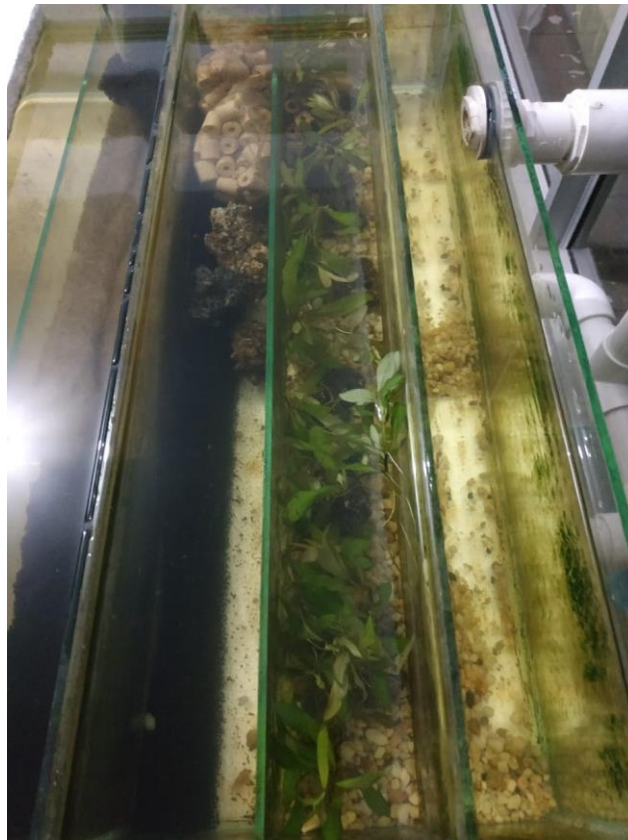
Gráfica 27: Instalación de material filtrante (biológico)



*Gráfica 28: Instalación de material filtrante (biológico)*



*Gráfica 29: Puesta a punto del filtro*



*Gráfica 30: Puesta a punto del filtro*



*Gráfica 31: Comportamiento del filtro después de 15 días de funcionamiento*



*Gráfica 32: Muestra del filtro al final del proyecto*



B6. Zona de cultivo hidropónico

*Gráfica 33: Preparación de plántulas y zonas flotantes de cultivo*



*Gráfica 34: Cultivo inicial*



*Gráfica 35: Tamaño radicular inicial*



*Gráfica 36: Crecimiento después de 15 días*



*Gráfica 37: Crecimiento después de 30 días*



*Gráfica 38: Crecimiento radicular después de 30 días*



*Gráfica 39: Tamaño al final del proyecto de la zona de cultivo hidropónico*



B7. Zona de cultivo piscícola

*Gráfica 40: Llegada de los peces*



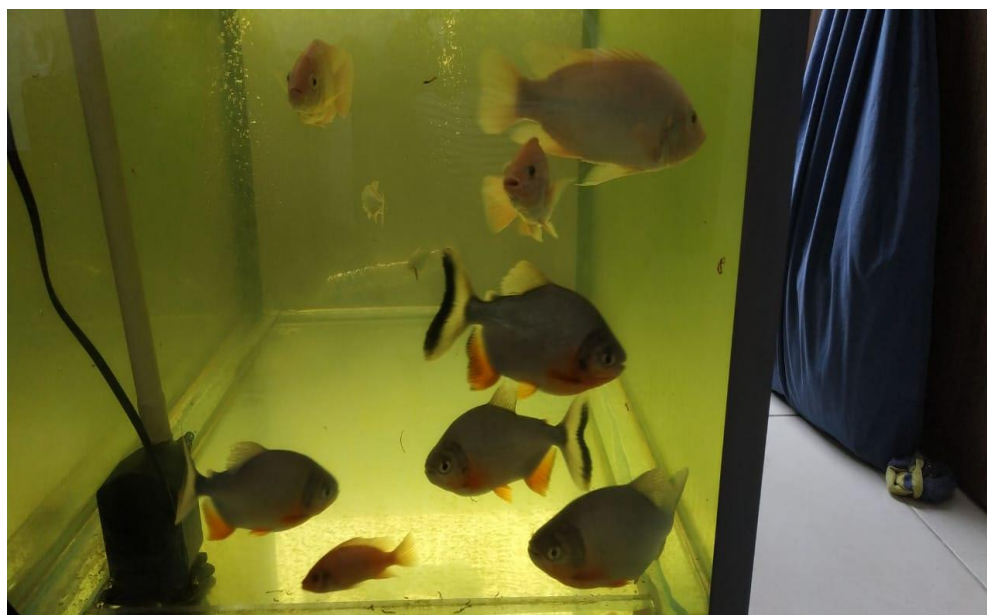
*Gráfica 41: Aclimatación de los peces*



*Gráfica 42: Aclimatación de los peces*



*Gráfica 43: Zona de cultivo piscícola a los 15 días*



*Gráfica 44: Zona de cultivo piscícola a los 30 días*



B8. Test paramétricos

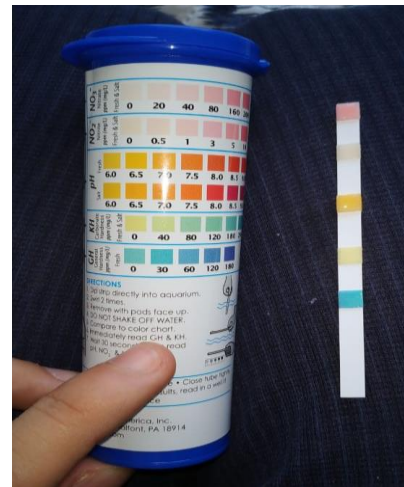
Gráfica 45: Muestras test paramétrico 1



Gráfica 46: Muestras test paramétrico 2



Gráfica 47: Muestras test paramétrico 4



Gráfica 48: Muestras test paramétrico 3



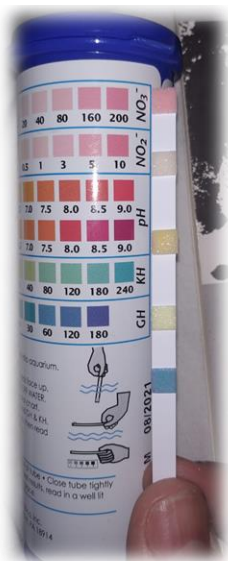
Gráfica 50: Muestras test paramétrico 5



Gráfica 49: Muestras test paramétrico 6



Gráfica 51: Muestras test paramétrico 7



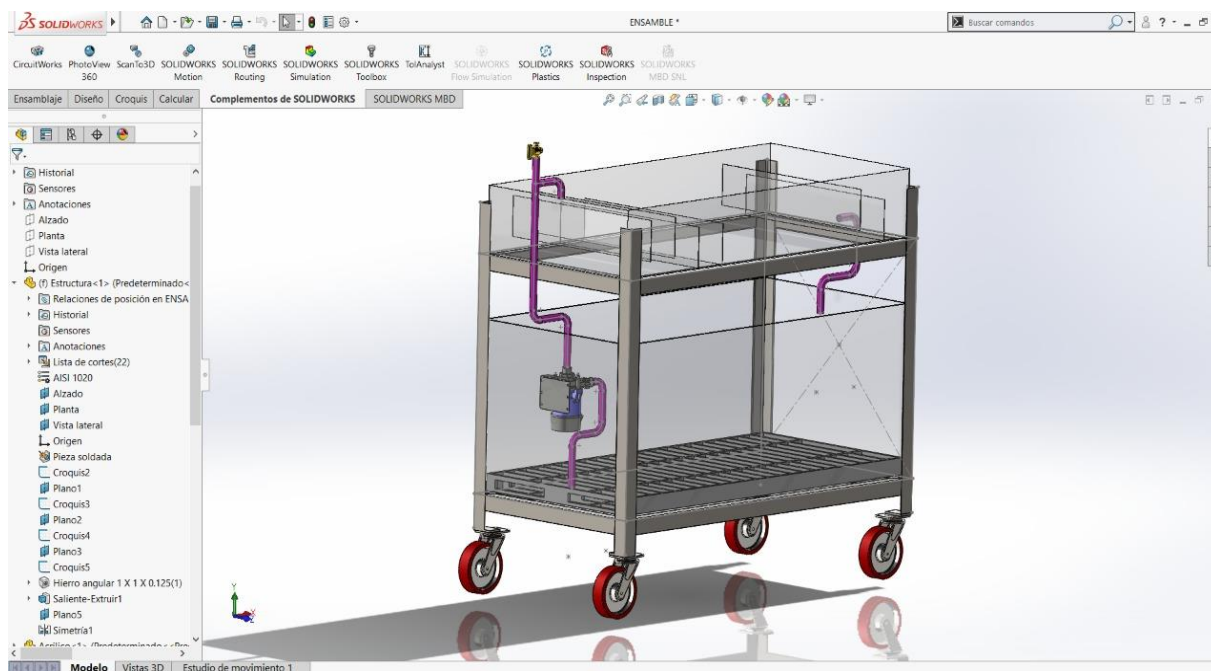
Gráfica 52: Muestras test paramétrico 8



## Anexo C

Se presentan los planos realizados en solidworks del diseño mecánico del sistema de producción alimentario y circular en el anexo I

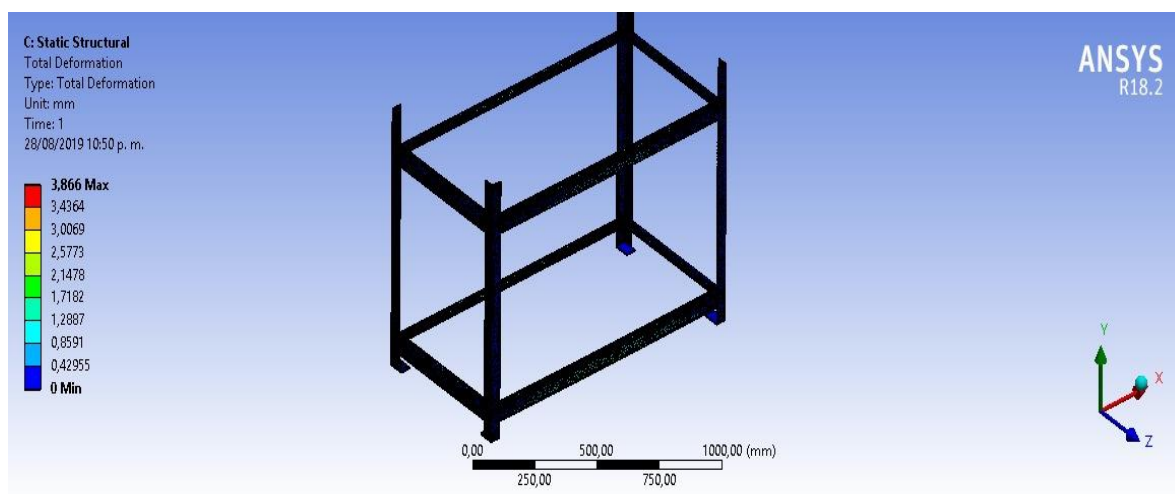
Gráfica 53: Diseño sistema



## Anexo D

Se adjuntan las gráficas obtenidas en la simulación de cargas

Gráfica 54: Simulación de carga



## Anexo E

Gráfica 55: Foto del kit paramétrico

