

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Beneficios de la depuración moluscos bivalvos: Evaluación y Socialización

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Lenin Josué Andrade Apolo

Gino Israel Dután Campoverde

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a mis seres queridos quienes fueron pilares fundamentales en esta etapa de mi vida, en especial a mi mamá, abuelos y abuelas, quienes supieron guiarme en mis primeros pasos.

**Lenin Josue Andrade Apolo**

El presente proyecto, va dirigido primeramente a mi familia, por la confianza y apoyo que depositaron en mi. También a los profesores que con mano alentadora supieron guiarme en mi correcto desarrollo profesional.

**Gino Israel Dután Campoverde**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a mis profesores, amigas y amigos que logré formar en mi etapa universitaria, con quienes trasnochamos, reímos y lloramos en cada semestre que pasaba. Agradezco a la ESPOL por mantener las becas económicas que fueron claves para seguir estudiando. Agradezco a mi compañero y amigo Gino por comprometerse y entregar sus conocimientos y por supuesto me agradezco a mi mismo por no haber dejado de soñar a pesar de los malos momentos.

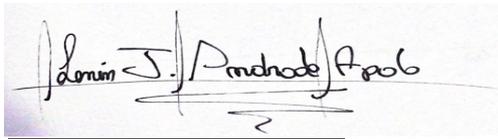
**Lenin Josué Andrade Apolo**

Agradezco a mi familia en especial Randy Dután quien me dio el soporte material para llevar a cabo el proyecto, a mis tutores, profesores y a Lenin Andrade mi amigo con el cual hemos logrado culminar esta etapa.

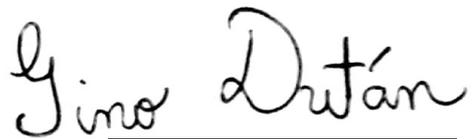
**Gino Israel Dután Campoverde**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Lenin Josué Andrade Apolo, Gino Israel Dután Campoverde, damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A handwritten signature in black ink on a light-colored background. The signature reads "Lenin J. Andrade Apolo" in a cursive style. There are some horizontal lines and scribbles below the signature.

Lenin Josue Andrade  
Apolo

A handwritten signature in black ink on a light-colored background. The signature reads "Gino Dutan" in a cursive style. There are some horizontal lines and scribbles below the signature.

Gino Israel Dutan  
Campoverde

# EVALUADORES

---

**Francis Loayza Paredes., PhD**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Jorge Silva León., PhD**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Los moluscos bivalvos son una fuente de consumo que ha incrementado dramáticamente en todo el mundo, este hecho es alarmante, porque en caso de no ser correctamente depurado puede causar enfermedades crónicas por contaminación microbiana. La presente investigación tiene como objetivo disminuir la temperatura del agua salada que circula en un sistema de depuración de mejillones acorde a los estándares de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura). Se realizaron varias pruebas experimentales para descubrir por qué se incrementa la temperatura del agua. Al examinar la bomba se observó que se encuentra sobredimensionada, es decir que gran parte de su energía se transmite como calor al agua, y durante la operación se calienta. Bajo la restricción de no ingresar energía adicional se propuso, además de cambiar la bomba, un nuevo diseño de aspersion, el cual permite un mayor intercambio de calor con el aire ambiente, obteniendo como resultado una disminución de temperatura desde 34.11 [°C] hasta 29.64 [°C], aproximadamente 4 [°C], recordando que el resultado se lo calculó con la bomba sobredimensionada. Por lo tanto, se concluye que el diseño no satisface el requerimiento del cliente, sin embargo, se puede considerar en otra especie de molusco. Se recomienda al cliente que si desea la disminución de temperatura para climas con una temperatura ambiente por encima de 25 [°C] debe ingresar una unidad de refrigeración controlada con un termostato, como lo dicta la FAO.

**Palabras claves:** Depuración, Transferencia de calor, Moluscos Bivalvos, Contaminación microbiana.

## **ABSTRACT**

*Bivalve mollusks are a source of consumption that has increased dramatically around the world, this fact is alarming, in case of not being properly purified, it can cause chronic diseases due to microbial contamination. The present research aims to lower the temperature of the water sea circulating in a mussel depuration system according to FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) standards. Several experimental tests were carried out to find out why the water temperature increases. Examination of the pump showed that it is oversized, much of its energy is transferred as heat to the water, and during of operation it heats the water. Under the restriction of not entering additional energy, in addition to changing the pump, a new sprinkler design was proposed, which allows a greater heat exchange with the ambient air, resulting in a decrease in temperature from 34.11 [°C] to 29.64 [°C], approximately 4 [°C], remembering that the result was calculated with the oversized pump. Therefore, it is concluded that the design does not achive the customer's requirement, however, it can be considered for another mollusk species. It is recommended to the client that if a temperature decrease is desired for climates with an ambient temperature above 25 [°C] a thermostatically controlled refrigeration unit should be installed, as dictated by FAO.*

**Keywords:** *Purification, Heat transfer, Bivalve mollusks, Microbial contamination.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos .....	2
1.4 Marco teórico .....	3
1.4.1 Virus entéricos de transmisión alimentaria en moluscos bivalvos .....	3
1.4.2 Mecánica de fluidos y transferencia de calor .....	4
1.4.3 Depuración .....	6
1.4.4 Sistemas de tuberías.....	7
1.4.5 Luz ultravioleta .....	8
1.4.6 Sistema de bombeo .....	8
1.4.7 Normativas .....	9
CAPÍTULO 2.....	10
2. Metodología.....	10
2.1 Metodología del diseño.....	10

2.2	Requerimientos del sistema.....	12
2.3	Parámetros de diseño.....	12
2.3.1	Costo de fabricación.....	12
2.3.2	Mantenimiento del equipo .....	12
2.3.3	Funcionamiento del equipo .....	13
2.3.4	Complejidad del equipo.....	13
2.3.5	Contaminación cruzada.....	13
2.4	Análisis de Alternativas.....	13
2.5	Selección de alternativas .....	15
2.5.1	Demandas del cliente.....	15
2.5.2	Priorización de demandas.....	16
2.5.3	Parámetros técnicos.....	17
2.5.4	Casa de calidad.....	18
2.5.5	Matriz de selección generalizada .....	19
2.6	Diseño propuesto.....	21
2.7	Zona de producción del molusco depurado.....	22
2.8	Consideraciones previas a la implementación del sistema de depuración ...	23
2.9	Implementación de la aspersion .....	23
2.10	Pasos del cálculo para la selección de la bomba de recirculación .....	24
CAPÍTULO 3.....		29
3.	Resultados Y ANÁLISIS .....	29
3.1	Selección de la bomba de recirculación .....	29
3.2	Carga de aspiración positiva neta para determinar presencia de cavitación	36
3.3	Transferencia de calor en la aspersion.....	39
3.4	Resumen.....	47
3.5	Análisis de costos .....	48
CAPÍTULO 4.....		50

4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	50
4.1	Conclusiones .....	50
4.2	Recomendaciones .....	52

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
PVC	Policloruro de Vinilo
NPSH	Altura de Aspiración Positiva Neta
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización

## SIMBOLOGÍA

$g$	Aceleración de la gravedad $\frac{m}{s^2}$
$\rho$	Densidad $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
$h$	Coefficiente de transferencia de calor por convección, $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
$k$	Conductividad térmica, $\frac{W}{m \cdot K}$
$D$	Diámetro, mm
$V$	Velocidad, $\frac{m}{s}$
$Re$	Número de Reynolds
$\nu$	Viscosidad cinemática, $\frac{m^2}{s}$
$Q$	Caudal, $\frac{m^3}{s}$
$f$	Factor de fricción
$H_{bomba}$	Cabezal de la bomba [m]
$Pr$	Número de Prandtl
$Nu$	Número de Nusselt
$W$	Potencia, [W] o [HP]

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Metodología del diseño para la disminución de temperatura en el sistema de depuración de moluscos bivalvos.....	11
Figura 2.2 Casa de calidad.....	18
Figura 2.3 Diseño CAD de la alternativa B realizado en el software Inventor versión 2018 (Vista isométrica 1) .....	21
Figura 2.4 Diseño CAD de la alternativa B realizado en el software Inventor versión 2018 (Vista isométrica 2) .....	21
Figura 3.1 Puntos de referencia del sistema de depuración .....	30
Figura 3.2 Puntos de referencia para determinar el NPSH .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Demandas del cliente .....	15
Tabla 2.2 Comparación por pares de las demandas.....	16
Tabla 2.3 Comparación de pares .....	17
Tabla 2.4 Nivel de relación .....	17
Tabla 2.5 Relación de parámetros técnicos .....	18
Tabla 2.6 Ponderación de criterios .....	19
Tabla 2.7 Matriz de selección .....	20
Tabla 2.8 Matriz de selección generalizada .....	20
Tabla 2.9 Criterios para la clasificación de zonas de producción de moluscos * .....	22
Tabla 2.10 Propiedades del PVC * .....	24
Tabla 3.1 Parámetros iniciales* .....	29
Tabla 3.2 Pérdidas por cargas mayores por tramo de conducción .....	33
Tabla 3.3 Pérdidas por cargas menores por tramo de conducción .....	34
Tabla 3.4 Velocidades del aspersor con respecto al diámetro y número de agujeros.....	35
Tabla 3.5 Resultados de la nueva bomba de recirculación.....	47
Tabla 3.6 Resultados de la disminución de temperatura en la aspersión .....	47
Tabla 3.7 Flujo de caja sistema de aspersión a escala de laboratorio.....	48
Tabla 3.8 Flujo de caja de la implementación de la nueva bomba de agua.....	49

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

El mercadeo de moluscos bivalvos aumenta en gran escala a nivel mundial, por consiguiente, son numerosos los organismos encargados de la **salud pública** que regularizan el consumo del crustáceo por medio de evaluaciones territoriales, sectoriales, legales y de impacto ambiental, con el fin de garantizar la protección de los consumidores. Los moluscos concentran microorganismos patógenos del agua de mar, estos pueden causar enfermedades gastrointestinales, debido a esto, se estandariza que los cultivos dispongan de un sistema de depuración para reducir los microorganismos bacterianos, previniendo intoxicación en la salud de los consumidores y a la vez asegurar la calidad del producto, lo cual produce un aumento **económico** ya que el producto puede comercializarse a nivel **global** debido al cumplimiento de las leyes y normas de los países consumidores (Lee R., Lovatelli A. y Ababouch L., 2010). Actualmente en el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM), se implementa un sistema de depuración de agua para moluscos bivalvos, el cual presenta un aumento de temperatura en el agua suministrada a los contenedores, lo cual provoca que los moluscos que se encuentran habitando adentro sufran de estrés corporal incrementando la posibilidad de brotes entéricos dentro del sistema disminuyendo la seguridad alimentaria del producto. Por lo tanto, se requiere aumentar un equipo de refrigeración el sistema de depuración con las destrezas adquiridas en la carrera de Ingeniería Mecánica y que satisfaga las necesidades cooperativas de los proveedores.

En cuanto al **impacto ambiental** que genera una depuración correcta y de bajo costo es positiva ya que permite contribuir en la creación de vida marina, además de la mejora en su calidad de vida lo que permite un desarrollo sostenible, sin

embargo, el mayor aporte es a nivel de microorganismos, ya que el sistema de depuración permite disminuir el mínimo posible la presencia de estos.

El proyecto además genera comunidades sostenibles que permiten una enorme contribución con respecto al tema **social y cultural** de nuestro país, entregando tecnología asequible debido a su bajo costo ya que se conoce que en Ecuador por lo menos un 23.1% de la población realiza actividades acuícolas y de pesca, sin embargo los altos costos y la desinformación que se tiene en los pequeños comerciantes provocaba que no se cumpla con las normas exigidas por el ente regulador, provocando productos de baja calidad y con alta probabilidad de que presente microorganismos patógenos, lo cual atenta contra la **seguridad y bienestar** de los consumidores ya que ingieren productos alimenticios que no han sido tratados adecuadamente.

## **1.2 Justificación del proyecto**

Actualmente existe una planta de depuración de moluscos bivalvos en la ESPOL a nivel de laboratorio. El agua que es recirculada en cada uno de los tanques de depuración tiene una temperatura excesiva que debe ser disminuida para poder reducir el impacto negativo que esta tiene sobre los moluscos bivalvos. Se debe proveer e implementar una solución de bajo costo ya que el proyecto bajo el cual está operando la planta es del tipo experimental para prueba de concepto en laboratorio y posterior socialización de resultados con las comunidades recolectoras de moluscos. En base a la evaluación del origen del problema se debe además proveer recomendaciones para implementaciones de este tipo de sistemas a nivel comercial.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Disminuir la temperatura del agua que llega a los contenedores de moluscos bivalvos acorde a estándares de la FAO (organización de las Naciones Unidas para alimentación y la agricultura).

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar las etapas del sistema de depuración, estableciendo las etapas críticas en su diseño

2. Proponer los cambios pertinentes en la etapa o las etapas críticas para la disminución de temperatura del agua depurada
3. Determinar la viabilidad de la propuesta planteada para el rediseño del sistema de depuración, basado en un análisis de costos

#### **1.4 Marco teórico**

La presencia de patógenos bacterianos en la acuicultura de moluscos bivalvos son un problema grave para el consumidor, dicho riesgo se puede reducir por medio de un sistema de depuración que consiste en mantener a los moluscos en tanques de agua limpia para eliminar los contaminantes adquiridos por su capacidad de concentrar bacterias en su ambiente acuático. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), determina que desde el año 1999 hasta 2006 la producción y consumo mundial de moluscos bivalvos aumentó en 4% aproximadamente. Tal avance en la comercialización del producto genera una mayor exigencia en la calidad de este, el cual se relaciona con la carencia de microorganismos patógenos. Los moluscos bivalvos en su mayoría se consumen crudos o vivos, situándolo como alimento de alto riesgo para la seguridad alimentaria. Por lo tanto, diseñar el sistema de depuración de moluscos bivalvos implica un gran reto en el que se debe tener en cuenta diversas variables, entre ellas, la temperatura es un dato relevante, dado que, si la temperatura es alta los moluscos se debilitan o incluso causan la mortalidad.

##### **1.4.1 Virus entéricos de transmisión alimentaria en moluscos bivalvos**

La Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) relata que, las enfermedades de transmisión alimentaria (ETA), aumentan principalmente por los agentes etiológicos virales, quienes ilustran la vulnerabilidad del mercado global alimentario. Los esenciales contaminantes son: la norovirus (NoV), quien ocasiona en el individuo una infección auto limitante con un periodo de incubación de 12 – 48 horas, y el virus de la Hepatitis A (HAV), que también es una enfermedad con alta tasa de propagación, por ejemplo, en Italia donde el 70% es de consumo de moluscos, donde la cocina es parcialmente efectiva para reducir contaminantes (Polo, 2014).

Por otro lado, en Estados Unidos se origina en mayor cantidad grupos infecciosos a causa de *Vibrio parahaemolyticus* y *Vibrio vulnificus*, los cuales son bacterias entéricas producidas por heces fecales, que se encuentran en costas marinas ya que requieren de sal para su desarrollo y puede causar graves infecciones gastroenteritis tras el consumo del molusco crudo, no obstante, es una enfermedad leve con una tasa de mortalidad de alrededor del 0.1%. Además, no todas las cepas de *Vibrio parahaemolyticus* son patógenas, por lo que se requiere hacer pruebas moleculares donde se estudian los genes del vibrio y reflejar si es seguro su consumo. (Ababouch, Lee, & Lovatelli, 2010)

#### 1.4.2 Mecánica de fluidos y transferencia de calor

La mecánica de fluidos es definida como la ciencia que permite estudiar el comportamiento y las leyes que rigen a los fluidos (Çengel, 2018), permitiendo el uso de principios y ecuaciones que posibilitan el desarrollo de proyectos y/o problemas como por ejemplo diseños de sistemas de tuberías. Además, una de las ramas académicas que usaremos es la transferencia de calor, ya que nos permiten estudiar el comportamiento térmico de los materiales y el fluido que interactúan en el sistema de depuración, con el ambiente en el que se encuentran. De esta forma usando leyes y ecuaciones de transferencia de calor y mecánica de fluidos, se logrará tomar la decisión más eficiente para la disminución de temperatura en el sistema. La ecuación de energía en un volumen de control para un flujo incompresible estacionario engloba todos estos términos y se representa de la siguiente manera:

$$\left( h + \frac{1}{2}V^2 + gz \right)_{\text{entrada}} = \left( h + \frac{1}{2}V^2 + gz \right)_{\text{salida}} + q + w_s + w_v \quad (1.1)$$

**Donde:**

$V$ : Velocidad en el punto de entrada o salida  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

$z$ : Altura medida desde un punto de referencia [m]

$q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$ : Calor comunicado al fluido por unidad de masa  $\left[ \frac{kCal}{kg} \right]$

$$w_s = \frac{\dot{W}_s}{\dot{m}} : \text{Trabajo de partes móviles} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$w_v = \frac{\dot{W}_v}{\dot{m}} : \text{Trabajo de esfuerzos viscosos} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$h = u + \frac{p}{\rho} : \text{Entalpía} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

La termodinámica permite medir la transferencia de calor que sufre un sistema al pasar un proceso de un estado de equilibrio hacia otro, sin embargo, en muchas aplicaciones se necesita conocer el tiempo que tomará este proceso, es allí en donde entra la transferencia de calor.

Hay 3 mecanismos básicos para la transferencia de calor, los cuales son; conducción, convección y radiación, aunque el punto de interés es la convección, debido a que en su definición se establece que hay transferencia de calor si se tienen superficies sólidas, líquidas o gaseosas adyacentes en movimiento, se calcula usando la ley de Newton del enfriamiento, donde su expresión matemática es;

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \tag{1,2}$$

**Donde:**

h: coeficiente de transferencia de calor por convección  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} \right]$

$A_s$ : Área superficial [m<sup>2</sup>]

$T_s$ : Temperatura superficial [°C]

$T_\infty$ : Temperatura del fluido suficientemente alejado de la superficie [°C]

El número de Nusselt se utiliza para relacionar transferencia de calor, en donde se divide la transferencia de calor por convección en la conductividad térmica del material que se encuentra en reposo.

$$Nu = \frac{hL}{k} \tag{1.3}$$

**Donde:**

k = Conductividad Térmica  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección  $[\frac{W}{m^2K}]$

$L$  = Longitud característica [m]

En muchos casos, es posible que no se encuentre en tablas el coeficiente de transferencia por convección, es allí donde el número de Nusselt permite encontrarlo mediante la ecuación (1,3), sin embargo, para encontrarlo es necesario seguir los siguientes pasos;

Paso 1

Encontrar el tipo de régimen, laminar o turbulento; se lo realiza mediante la ecuación

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (1.4)$$

Donde:

$V$  = Velocidad del fluido  $[\frac{m}{s}]$

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

$L$  = Longitud característica [m]

Paso 2

Comparar la longitud que recorre el fluido y el diámetro transversal del mismo, si la relación es mayor a 10 y el régimen es turbulento, entonces se puede utilizar la ecuación (1.5);

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (1.5)$$

Donde

$Nu$  = Número de Nusselt

$Pr$  = Número de Prandtl

El número de Prandtl se lo encuentra usando la tabla C.2

### 1.4.3 Depuración

Los moluscos bivalvos presentan una característica importante que es filtrar su interior por medio de sus branquias, sin embargo, las branquias son tapadas por los contaminantes, debido a esto, el proceso de depuración consiste en permitir que el molusco recupere la capacidad de filtrar su aparato intestinal al ser sumergido dentro de un tanque de agua de mar limpia, y por el correcto flujo de

agua y bombeo del molusco, este elimine los contaminantes. Para alcanzar este proceso se deben mantener condiciones como: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, flujo de agua y evitando que el agua de mar limpia se contamine. Las tablas donde se especifican los límites de salinidad y temperatura se muestran en la sección de Anexos. Sin embargo, el sistema de depuración presenta inconvenientes dependiendo de las condiciones en el que se esté trabajando, en general en un clima templado es necesario trabajar con una temperatura ligeramente mayor a la de la filtración para lograr la eliminación del virus, pero esto puede también causar la proliferación de *Vibrio* bacteriano, por ello el sistema de depuración en ocasiones no es óptimo. Otro punto importante es que se trabaje el sistema de depuración por lotes, para así evitar que los moluscos ya ingresados mayor tiempo en el tanque y se encuentren casi depurados no se contamine de nuevo. La depuración se debe llevar a cabo considerando los principios de bioseguridad de la salud pública y de los moluscos bivalvos. Es importante resaltar que dentro de la planta de depuración se debe tener un régimen de limpieza que no afecte al producto, mediante al Código Internacional de Prácticas Recomendado – Principios Generales de Higiene de los Alimentos (CAC/RCP 1-1969), tanto para el tratamiento de moluscos vivos y crudos.

#### **1.4.4 Sistemas de tuberías**

Las tuberías del sistema de depuración no deben deteriorarse, ni permitir la transferencia de calor entre el ambiente y el agua que fluye dentro de la tubería. En general el material apropiado que se utiliza es el policloruro de vinilo (PVC). El llenado del tanque se debe hacer por aspersión, junto a una ratio moluscos: agua estable, temperatura baja y correcta circulación, se puede mantener niveles de oxígenos disueltos bajos, por encima de 5 mg/l. Este tipo de aeración primaria se da en casos de un sistema de depuración estático. Se debe usar una bomba impulsora que no desprenda elementos contaminantes al depurado. El programa sanitario nacional de moluscos (NSSP) recomienda que el caudal requerido sea de 107 L/min por metro cúbico de moluscos. Para determinar el diámetro apropiado de tubería se utilizan las siguientes fórmulas:

#### 1.4.5 Luz ultravioleta

Utilizar luz ultravioleta como medio desinfectante en el sistema de depuración resulta conveniente. El foco ultravioleta es insertado dentro de la tubería con un sellado de cuarzo con el fin de reflejar su luz en toda el agua, por otra parte, la FAO recomienda para sistemas de recirculación 30 W para un volumen de 2200 litros de agua de mar. La UV se propaga en ondas electromagnéticas que emiten calor debido a esta propiedad la temperatura del agua aumenta, causando el estrés corporal en los moluscos, haciendo que el hábitat dentro de los contenedores sea imposible, la temperatura ideal para ellos sería de entre 25 [°C] - 27 [°C], temperatura que es igual a la temperatura de su hábitat natural.

#### 1.4.6 Sistema de bombeo

El sistema de bombeo sirve para mantener el flujo requerido dentro del sistema de depuración, por esta razón es un componente importante. No obstante, para realizar esto se necesita seleccionar una bomba, esta permitirá convertir energía eléctrica en energía mecánica y a su vez energía cinética, pero el problema surge cuando la eficiencia real de la bomba es muy baja, hay muchos factores que pueden causar este desperdicio, sin embargo para el este proyecto la causa es por una mala adquisición de la bomba, debido a que la bomba por ser de mayor potencia a la requerida, parte de esa potencia se desperdicia como calor, ya que el sistema al estar en circuito cerrado de recirculación, hace que a medida que pase por ti esta sección adquiera un pequeño diferencial de calor, haciendo que en el transcurso del tiempo el agua esté a una temperatura más alta de la requerida. Debido a esto, se puede plantear añadir elementos al sistema, elementos como radiadores con ventilador o chillers, sin embargo, debido a la aplicación, no se pueden optar por estas opciones ya que elevan el costo de depuración por molusco, haciendo que las soluciones planteadas sean inviables. Sin embargo, existen opciones como modificaciones en el sistema que permitan disipar el calor en exceso sin el consumo de energía adicional, dichas soluciones pueden ser el diseño y ejecución de una mini torre de enfriamiento en los aspersores del sistema.

$$W_{\text{potencia,útil}} = \rho g Q_{\text{ajustado}} H_{\text{bomba}} \quad (1,6)$$

**Donde:**

$W_{\text{potencia,útil}}$ : Potencia útil [Watts o hp]

$Q_{\text{ajustado}}$ : Caudal del sistema ajustado  $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]$

$H_{\text{bomba}}$ : Cabezal de la bomba [m]

A medida que la presión disminuye es más fácil que el agua salada hierva, así que sabemos que en la entrada de succión de la bomba va a tener una caída de presión, y si esta presión es menor que la presión de vapor, es decir  $P < P_v$ , entonces el agua puede llegar al punto de ebullición donde ocurre la cavitación. Por ello se determina el NPSH disponible del sistema que debe ser mayor al NPSH requerido.

$$\text{NPSH} = \left( \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_{\text{Entrada de la bomba}} - \frac{P_v}{\rho g} \quad (1,7)$$

**Donde:**

NPSH: Carga de aspiración neta positiva disponible

P: Presión a la entrada de la bomba [KPa]

$P_v$ : Presión de saturación [KPa]

$\rho$ : Densidad del agua salada  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

V: Velocidad del fluido [m/s]

g: Gravedad  $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$

#### 1.4.7 Normativas

NTE INEN 2729-2013 (NORMA PARA LOS MOLUSCOS BIVALVOS VIVOS Y LOS MOLUSCOS BIVALVOS CRUDOS (CODEX STAN 292-2008, MOD).

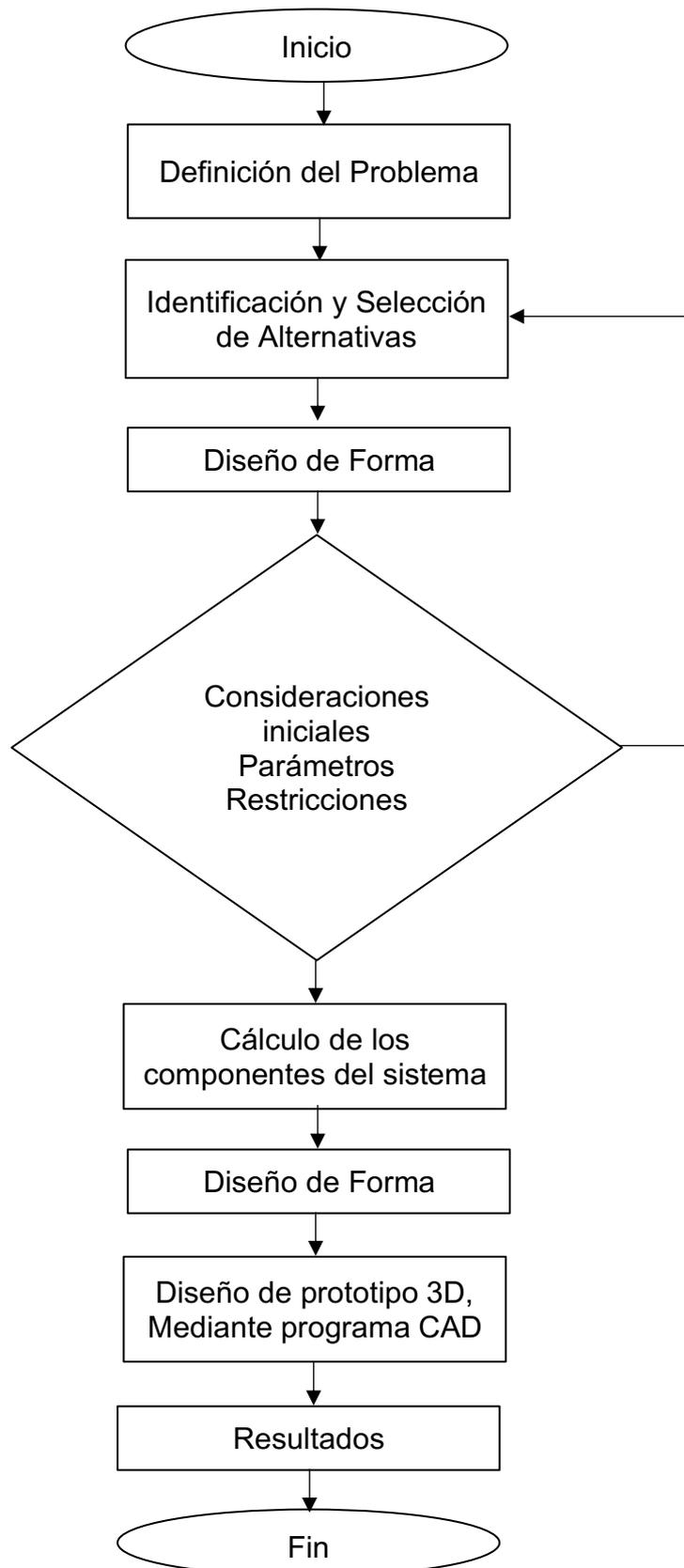
# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Junto al grupo interdisciplinario se adoptaron diferentes alternativas técnicas que solucionan los requerimientos del cliente, a fin de obtener un sistema de depuración con la reducción necesaria de temperatura para impedir que se genere estrés en el molusco bivalvo causando su posible mortalidad. A partir de esta premisa se muestra en la matriz de decisión la solución unánime que se seleccionó en conjunto.

### 2.1 Metodología del diseño

En la figura 1.1 se presentó la metodología que se utilizó para desarrollar el proyecto, iniciando la identificación del problema para luego comenzar a plantear las posibles soluciones, esto permitió realizar una matriz de decisión, en la cual se enlista las posibles soluciones en función a sus requerimientos. Una vez escogida la mejor opción, se procedió a elaborar un diseño conceptual para luego diseñar la solución final en alta resolución, es decir, detallando componentes, dimensiones y sus restricciones.



**Figura 2.1 Metodología del diseño para la disminución de temperatura en el sistema de depuración de moluscos bivalvos [Elaboración propia]**

## **2.2 Requerimientos del sistema**

En esta sección se consideró todos los componentes que puedan aportar calor al sistema de depuración de agua, de tal forma en que pueda identificar los tramos claves en los que el agua aumente su temperatura, ya que debido a este aumento el molusco bivalvo sufre de estrés ocasionando la mortalidad del animal. La temperatura del agua al inicio se encuentra a la temperatura ambiente 25 [°C] – 27 [°C], se observó que después de 1 hora de funcionamiento, la temperatura del agua aumenta aproximadamente 1 [°C], llegando a las 8 horas de operación se obtuvieron valores de temperatura entre 32 [°C] – 34 [°C]. Se requiere disminuir la temperatura al estado inicial para que el hábitat en los contenedores sea idóneo. Además de los componentes del sistema, se tienen limitaciones volumétricas en el tanque, es decir, el agua normalmente llega a una altura máxima dentro del tanque de 40 [cm], sin embargo, el diseño debe tener la capacidad de disipar calor incluso cuando se tenga 80 [cm] de alto. Además, es de suma importancia disminuir lo máximo posible la interacción de materiales externos al medio para evitar contaminación.

## **2.3 Parámetros de diseño**

### **2.3.1 Costo de fabricación**

Teniendo en cuenta que el producto es dirigido a la comunidad pesquera, se consideró que los elementos del sistema sean de costo accesible, se encuentren disponibles en el mercado nacional, y proporcionen la documentación que justifique las características del equipo para garantizar su alto desempeño en el sistema.

### **2.3.2 Mantenimiento del equipo**

Referente al equipo disipador de calor, se considera que se debe realizar mantenimientos preventivos, garantizando un óptimo desempeño del sistema por medio de limpieza y revisiones programadas que aseguren su correcto funcionamiento. Los planes de mantenimiento preventivo y correctivo, deben ser cuya complejidad sea mínima, con la finalidad de que cualquier operario puede leer los planos y realizar el mantenimiento respectivo.

### **2.3.3 Funcionamiento del equipo**

Se desea que el equipo opere continuamente durante 24 horas del día independiente del operador, no obstante, en caso de presentar una alteración el operador con facilidad puede intervenir en el sistema. Se deberán establecer los valores a que el sistema debe trabajar para la correcta depuración de los moluscos bivalvos.

### **2.3.4 Complejidad del equipo**

La adaptación del disipador de calor al sistema de depuración debe ser lo más intuitiva posible, dado que, si aumenta la complejidad, los costos de fabricación y mantenimiento también aumentarán. Además, si se requiere trasladar el equipo hacia otra área, la remoción e instalación del sistema de depuración debe ser factible, para que los costos del traslado sean lo mínimo posible.

### **2.3.5 Contaminación cruzada**

Es necesario tomar en cuenta la mínima interacción posible entre la solución planteada y el hábitat de los moluscos, debido que es posible que los materiales que puedan estar en contacto con el agua circundante, ocasionando que las concentraciones del agua depurada se vean alteradas, lo cual podría ser incluso causa de intoxicaciones para los animales.

## **2.4 Análisis de Alternativas**

La regulación de temperatura en el sistema de depuración de moluscos bivalvos presenta diversas variables a tener en consideración, en nuestro caso se establecieron principalmente tres variables: costo, factibilidad y la capacidad de disipación de calor, en base a esto se presentan a continuación las tres alternativas seleccionadas:

### **Alternativa A: Radiador**

El radiador es un intercambiador de calor compacto, el cual se utiliza para refrigerar grandes áreas superficiales como es el caso del tanque de depuración, presenta como principal ventaja disipar el calor de manera indirecta, puesto que, intercambia calor con el medio de forma cruzada mezclándose sin contaminar el agua del mar, además, su tamaño es adecuado para el sistema. La implementación del equipo es muy sencilla, y se piensa realizarlo afuera del tanque antes del sistema de

aspersión del agua como se muestra en la figura H.1 en la sección de a, por lo que solo se necesita instalar para que empiece a trabajar, el costo no es alto, y no se necesita un operario calificado. Los mantenimientos preventivos y correctivos presentan un nivel de dificultad medio, haciéndolo económico al momento de prevenir y reparar fallas. La principal desventaja del radiador es la capacidad de enfriar, puesto que, depende del ambiente en que se encuentre.

#### **Alternativa B: Aspersión**

La alternativa B se muestra en la figura H.2, donde se observa que se agregan dos sistemas más de aspersión, de esta manera se fragmenta en mayor cantidad el agua obteniendo una mayor cantidad de disipación de calor con el ambiente cumpliendo así la misma función que una torre de enfriamiento, ya que cumple el mismo principio a menor escala. Dicha alternativa es de fácil montaje y desmontaje, bajo costo, práctico, y requiere una mínima intervención por parte del operario.

#### **Alternativa C: Válvula de expansión termostática**

La válvula de expansión termostática sirve como componente de refrigeración al generar una caída de presión que disminuye la temperatura del fluido que pase por la válvula. Se lo propone como una alternativa económica y viable, la instalación de este no requiere gran exigencia, y no necesita ser operada. No obstante, la válvula de expansión se utiliza en ciclo de refrigeración para mantener el sobrecalentamiento, no hay registros de ser utilizado en un sistema de depuración. La figura se encuentra en la sección apéndice H.3.

## 2.5 Selección de alternativas

### 2.5.1 Demandas del cliente

Tabla 2.1 Demandas del cliente [Elaboración propia]

Demandas primarias	Demandas secundarias	Demandas terciarias
Fácil de usar	Fácil de manejar	Claridad en el manejo
		Poco monitoreo del funcionamiento
		Alta maniobrabilidad
	Fácil de mantener	Alta durabilidad
		Fácil Limpieza
		Facilidad de desmontaje
		Facilidad de montaje
Fácil de instalar	Facilidad de adaptarlo al tanque	
Resistente	Resistencia al ambiente	Tolerar las condiciones climáticas del área Que pueda trabajar en diferentes climas
	Resistencia a esfuerzos	Soporte vibraciones, daños internos o externos
Seguridad	Que sea estable	
	Que no desprenda contaminante	
	Que se adapte bien al tanque	
Cómoda	Que no genere molestias	Que no tenga vibraciones
		Que sea silenciosa
Capacidad de Refrigeración	Que sea eficiente para extraer calor	Que disponga de una alta capacidad de absorción de calor
		Que extraiga el calor uniformemente

## 2.5.2 Priorización de demandas

A continuación, se realiza una comparación por pares con el propósito de seleccionar las demandas con mayor prioridad, de esta manera se equilibra el coste de satisfacer una necesidad y el beneficio que recibe el cliente.

**Tabla 2.2 Comparación por pares de las demandas [Elaboración propia]**

	Fácil de manejar	Fácil de mantener	Fácil de instalar	Resistencia al ambiente	Resistencia a esfuerzos	Que no genere molestias	Que sea eficiente para extraer calor
Fácil de manejar		-	+	+	+	-	+
Fácil de mantener	+		+	+	+	-	+
Fácil de instalar	-	-		+	+	-	+
Resistencia al ambiente	-	-	-		+	-	+
Resistencia a esfuerzos	-	-	-	-		-	+
Que no genere molestias	+	+	+	+	+		+
Que sea eficiente para extraer calor	-	-	-	-	-	-	

+ Mayor prioridad

- Menor prioridad

De la tabla de comparación se procedió a seleccionar las demandas que tienen de dos “+” en adelante, descartando la demanda **fácil de mantener y que no genere molestias**.

### 2.5.3 Parámetros técnicos

**Tabla 2.3 Comparación de pares [Elaboración propia]**

LISTA DE PARÁMETROS TÉCNICOS	
Peso	kg
Área	cm <sup>2</sup>
Forma	-
Efectos contaminantes	-
Resistencia	-
Durabilidad	-
Fiabilidad	-
Complejidad de control	-
Fácil de usar	-

Una vez se dispone de los parámetros técnicos y las demandas priorizadas, se puede rellenar la casa de la calidad, con el fin de obtener un plano visual de que parámetros se debe trabajar para cumplir con ciertas demandas determinadas. Los valores de relación entre las demandas y los parámetros técnicos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2.4 Nivel de relación [Elaboración propia]**

Relación muy fuerte	9
Relación fuerte	3
Relación débil	1
Sin relación	0

La valoración de relación entre los parámetros técnicos es:

Tabla 2.5 Relación de parámetros técnicos [Elaboración propia]

Positiva	●
Negativa	✕

### 2.5.4 Casa de calidad

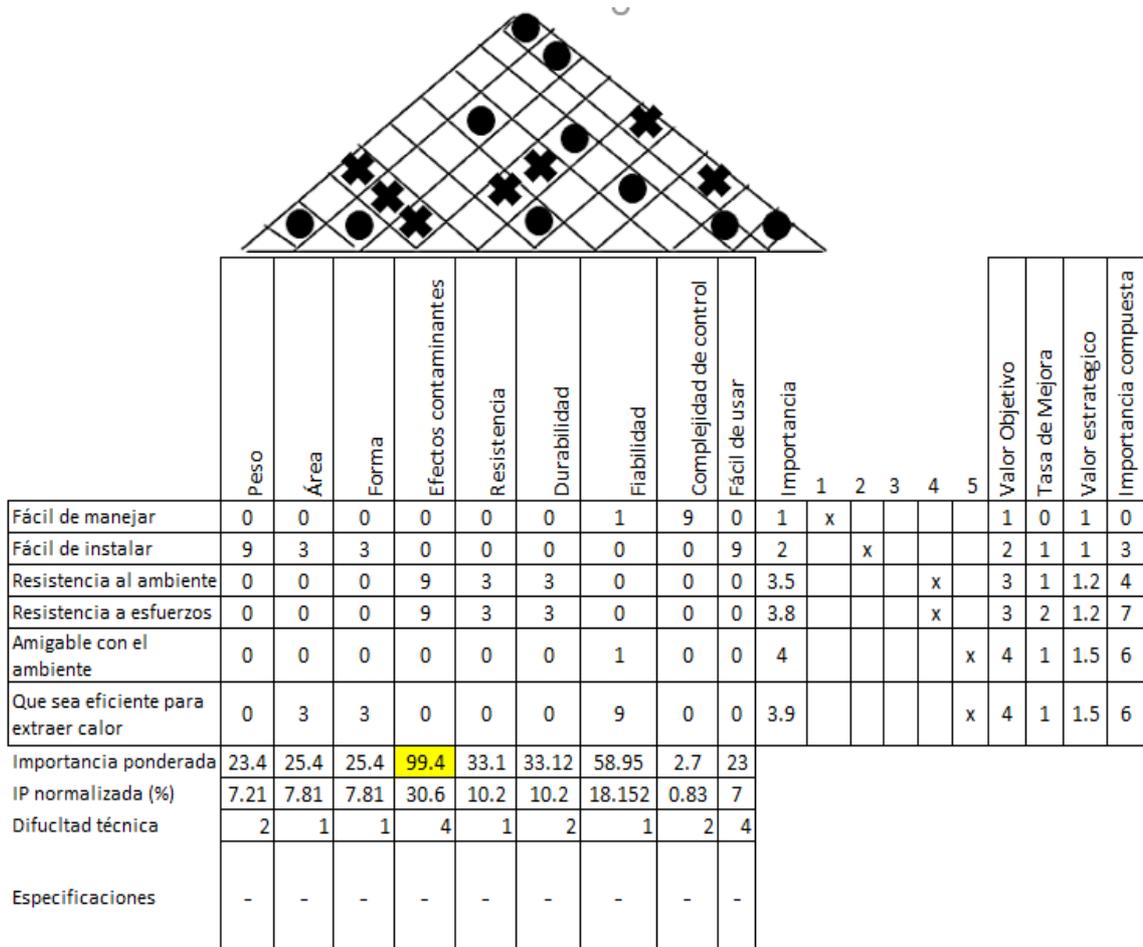


Figura 2.2 Casa de calidad [Elaboración propia]

**Nota:**

Se obtuvo que el parámetro de mayor peso es **efectos contaminantes**, es decir que se debe trabajar con un diseño considerando mayormente que efectos contaminantes puede tener sobre el sistema.

### 2.5.5 Matriz de selección generalizada

Finalmente, se seleccionó la mejor solución utilizando la matriz de selección generalizada. Las filas representan las diferentes soluciones para el problema presentado, y las columnas los criterios de diseño.

**Tabla 2.6 Ponderación de criterios [Elaboración propia]**

	Funcionalidad	Aspecto	Resistencia	Costo
Funcionalidad		-	+	+
Aspecto	+		+	+
Resistencia	-	-		+
Costo	-	-	-	
Ponderación	<b>0.20</b>	<b>0.10</b>	<b>0.30</b>	<b>0.40</b>

**Tabla 2.7 Matriz de selección [Elaboración propia]**

	Adaptabilidad	Complejidad de control	Fiabilidad	Peso	Área	Forma	Resistencia	Durabilidad	Energía consumida	Efectos perjudiciales laterales
Alternativa A	5	5	9	9	5	7	9	9	5	5
Alternativa B	9	7	9	9	7	7	9	9	9	7
Alternativa C	9	9	5	9	9	9	3	5	9	7

**Tabla 2.8 Matriz de selección generalizada [Elaboración propia]**

	(A)	(C.C.)	(F)	Peso	Área	Forma	(R)	(D)	Energía consumida	Efectos perjudiciales laterales	TOTAL
Peso	0.05	0.01	0.14	0.05	0.04	0.06	0.08	0.08	0.25	0.24	1
Criterios	Función - 0.20			Aspecto - 0.10			Resistencia - 0.30		Gasto - 0.40		
Alternativa A	0.25	0.05	1.26	0.45	0.2	0.42	0.72	0.72	1.25	1.2	6.52
Alternativa B	0.45	0.07	1.26	0.45	0.28	0.42	0.72	0.72	2.25	1.68	8.3
Alternativa C	0.45	0.09	0.7	0.45	0.36	0.54	0.24	0.4	2.25	1.68	7.16

## 2.6 Diseño propuesto

Finalmente, gracias a la matriz de selección generalizada, se obtuvo que la alternativa que cumple con las demandas del cliente y se encuentra sujeta a las normativas correspondientes es la alternativa B. Se presenta en la figura 2.5 un diseño de forma de la implementación al sistema de depuración.

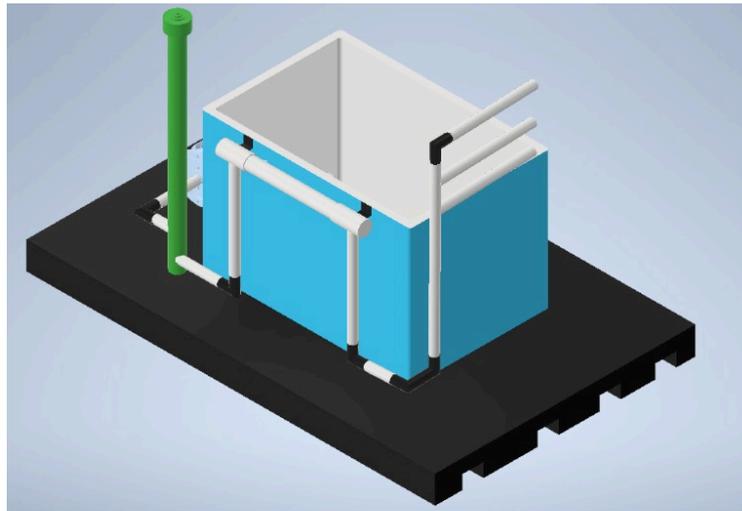


Figura 2.3 Diseño CAD de la alternativa B realizado en el software Inventor versión 2018 (Vista isométrica 1)  
[Elaboración propia]

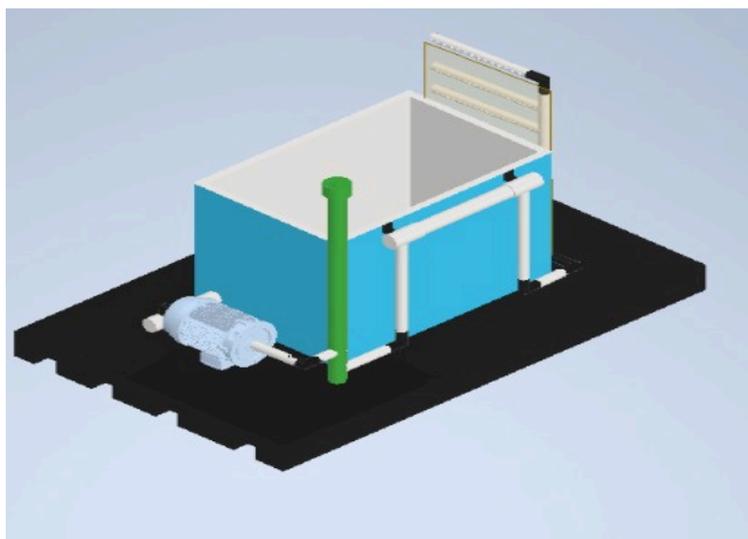


Figura 2.4 Diseño CAD de la alternativa B realizado en el software Inventor versión 2018 (Vista isométrica 2)  
[Elaboración propia]

## 2.7 Zona de producción del molusco depurado

Todas las especies de moluscos bivalvos pueden ser depuradas visto que todos tienen la característica de concentrar bacterias en su interior. También se constata que depende de las características fisiológicas de la especie se tendrá un diferente tratamiento de depuración. Por esta razón se determina cual es la respectiva zona de moluscos que va a ser depurada con ayuda de la tabla 2.9. y se observa que el molusco a tratar debe tener clasificación tipo B.

**Tabla 2.9 Criterios para la clasificación de zonas de producción de moluscos \***

Clasificación de las zonas de producción	Estándar microbiológico por cada 100g de carne de moluscos bivalvos y de líquido intravalva	Tratamiento necesario
<b>A</b>	$\leq 230 E. coli / 100g$ de carne y líquido intravalvar	Ninguno
<b>B</b>	Los moluscos bivalvos vivos de estas zonas no deben superar los límites de una prueba de cinco tubos, tres diluciones, número más probable [NMP] de 4600 E. coli por cada 100g de carne y líquido intravalvar en más de 10% de las muestras	Depuración, reinstalación en una zona de clase A o cocinado según un método autorizado.
<b>C</b>	Los moluscos bivalvos vivos de estas zonas no deben superar los límites de una prueba de cinco tubos, tres diluciones, NMP DE 46000 E. coli por cada 100g de carne y líquido intravalvar	Reinstalación durante un periodo largo o cocinado según método autorizado
<b>D</b>	46000 E. coli/100g de carne y líquido intravalvar	No se permite la recolección

\* (Lee, Lovatelli, & Ababouch, 2006)

## **2.8 Consideraciones previas a la implementación del sistema de depuración**

El sistema de depuración actual no puede verse alterado en el orden de los componentes ya establecidos, esto debido a que el nivel de depuración es el indicado y además a que toda la infraestructura está diseñada para acoger al sistema actual. La temperatura ideal de los moluscos se encuentra entre 25 [°C] - 27 [°C], por ende, el objetivo principal es llegar a una temperatura cercana **sin utilizar más energía externa**. El diseño que se desea agregar al sistema de depuración debe cumplir varias restricciones que impidan un riesgo en la depuración del agua.

## **2.9 Implementación de la aspersion**

Básicamente, se acoplan dos tuberías más de aspersion para aumentar la fragmentación del agua y a su vez la disipación de calor. Dado que el fluido es agua salada el material debe ser anticorrosivo, es decir que se continuara trabajando con policloruro de vinilo o PVC por sus propiedades técnicas que se muestran en la tabla 2.10. Además, se dará un soporte que sujete a los nuevos canales de aspersion para soportar las vibraciones, este material también debe evitar la contaminación con el interior del tanque.

**Tabla 2.10 Propiedades del PVC \***

Propiedades de un PVC reciclado comercial a 22.77 °C			Método de ensayo
Propiedades físicas	Densidad	1.16 - 1.40 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
	Dureza	54 - 92 Hrc	ASTM D 2240
Propiedades mecánicas	Punto de fluencia	1290 - 2930 psi	ASTM D 790
	Rotura	832 - 3270 psi	ISO 178
	Elongación en fluencia	270 - 490 %	ASTM D 638
	Elongación en rotura	200 - 450%	ASTM D 638
Propiedades térmicas	Temperatura máxima de uso	59.44 - 105 °C	ASTM D 794
	Temperatura de fragilización	- 51.38 a - 14.20 °C	ASTM D 746
	Temperatura de fusión	159.44 - 179.44 °C	ASTM D 746

\* (Aigaje, 2018)

## 2.10 Pasos del cálculo para la selección de la bomba de recirculación

Para determinar la potencia de la bomba, se debe hallar el cabezal de este. Se inicia por determinar los puntos de referencia en la ecuación de energía para flujo estacionario incompresible.

$$\left( \tilde{h} + \frac{1}{2} V^2 + gz \right)_{\text{entrada}} = \left( \tilde{h} + \frac{1}{2} V^2 + gz \right)_{\text{salida}} + q + w_s + w_v \quad (2,1)$$

### Primer paso

Determinar el diámetro de impulsión por medio de la ecuación de Bresse, cuya fórmula relaciona las horas de bombeo por día y el caudal que se requiere. (Guerra, 2018). Se utiliza un caudal recomendado por la FAO, de la tabla B.1 en la sección de apéndices.

$$D_{\text{impulsión}} = \left( 1.3 \left( \frac{\text{Horas de bombeo}}{24} \right)^{\frac{1}{4}} \sqrt{Q_{\text{sistema}}} \right) * 1000 \quad (2,2)$$

**Donde:**

$D_{\text{impulsión}}$ : Diámetro de la línea de impulsión [mm]

$Q_{\text{sistema}}$ : Caudal del sistema  $3.33x^{-4} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

El diámetro de succión se calcula por medio de la ecuación de continuidad, utilizando el valor de velocidad recomendado por la FAO a la entrada de la bomba de la tabla B.2.

$$D_{\text{succión}} = \sqrt{\frac{4Q_{\text{sistema}}}{\pi V_{\text{entrada}}}} \quad (2,3)$$

**Donde:**

$D_{\text{succión}}$ : Diámetro de la succión de la bomba [mm]

$V_{\text{entrada}}$ : Velocidad en la entrada de la bomba  $0.4 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

### Segundo paso

Del primer paso, utilizo el diámetro de impulsión para determinar un nuevo caudal, denominado caudal ajustado, el cual atravesara toda la sección transversal del sistema.

$$Q_{\text{ajustado}} = \left( \frac{\pi D_{\text{impulsión}}^2}{4} \right) * V_{\text{salida}} \quad (2,4)$$

**Donde:**

$Q_{\text{ajustado}}$ : Caudal ajustado  $\left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

$V_{\text{salida}}$ : Velocidad a la salida de la bomba  $1 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$

### Tercer paso

El número de Reynolds muestra el tipo de flujo, al tenerlo definido se puede encontrar el factor de pérdida con el diagrama de Moody o la ecuación de Haaland. La rugosidad del material se obtiene de la tabla B.3.

$$Re = \frac{4Q_{\text{ajustado}}}{v\pi D_{\text{impulsión}}} \quad (2,5)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[ \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{\epsilon}{\frac{D_{\text{impulsión}}}{3.7}} \right)^{1.11} \right] \quad (2,6)$$

#### Donde:

f : factor de fricción

ε: Rugosidad del material 0.0015 [mm]

Re: Número de Reynolds

v: Viscosidad cinemática  $\left[ \frac{m^2}{s} \right]$

El factor de pérdida para los agujeros de aspersion en un tubo lineal se lo considera como coeficiente de pérdida por fricción y se calcula con la siguiente ecuación. (Christiansen, 1942)

$$f = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad (2,7)$$

#### Donde:

m: valor experimental, se recomienda un valor de 2

N: número de orificios

#### Cuarto paso

Al calcular el factor de fricción para las líneas de conducción y la aspersion se procede a determinar las pérdidas por cargas mayores y menores para todo el sistema.

$$h_{\text{mayor}} = f \frac{L}{D} \frac{V_{\text{salida}}^2}{2g} \quad (2,8)$$

$$h_{\text{menor}} = \sum K_L * \frac{V_{\text{salida}}^2}{2g} \quad (2,9)$$

$$h_{L,\text{total}} = h_{\text{mayor}} + h_{\text{menor}} \quad (2,10)$$

#### Donde:

f : Factor de fricción

L: Longitud de la tubería [m]

D: Diámetro de la tubería [m]

$K_L$ : Factor de pérdidas por accesorios

$h_{L,\text{total}}$ : Pérdida total en el sistema de tubería [m]

#### Quinto paso

Aplicando la ecuación de la continuidad se determina la velocidad en la aspersion, considerando el número de orificios se expresa de la siguiente manera:

$$Q_1 = \#_{\text{agujeros}} Q_2 \quad (2,11)$$

$$A_1 V_1 = \#_{\text{agujeros}} A_2 V_2 \quad (2,12)$$

#### Donde:

$A_1$ : Área transversal de la tubería [m<sup>2</sup>]

$A_2$ : Área transversal del agujero de aspersion [m<sup>2</sup>]

$V_1$ : Velocidad del flujo a través de la tubería  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$V_2$ : Velocidad del flujo del agujero de aspersión  $\left[\frac{m}{s}\right]$

### Último paso

Los datos obtenidos en los anteriores pasos se sustituyen en la ecuación de energía y se calcula el cabezal de la bomba. Finalmente, calculamos la potencia de la bomba, el rpm del motor y el NPSH para observar si hay o no cavitación en el sistema de depuración.

$$W_{\text{potencia,útil}} = \rho g Q_{\text{ajustado}} H_{\text{bomba}} \quad (2,13)$$

$$\text{NPSH} = \left( \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_{\text{Entrada de la bomba}} - \frac{P_v}{\rho g} \quad (2,14)$$

#### Donde:

NPSH: Carga de aspiración neta positiva disponible

P: Presión a la entrada de la bomba [KPa]

$P_v$ : Presión de saturación [KPa]

$\rho$ : Densidad del agua salada  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$W_{\text{potencia,útil}}$ : Potencia útil [Watts o hp]

$Q_{\text{ajustado}}$ : Caudal del sistema ajustado  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

$H_{\text{bomba}}$ : Cabezal de la bomba [m]

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A medida que aumentan las horas de operación en el sistema de depuración, la temperatura del agua de mar aumenta por el calor que se genera debido a las pérdidas de fricción en la bomba, al encontrarse sobredimensionada, por esta razón se solicita realizar el cálculo de una bomba adecuada para el sistema y calcular la cantidad de temperatura que disminuye el agua salada con el nuevo sistema de aspersión, aplicando definiciones de mecánica de fluidos, transferencia de calor, termodinámica.

### 3.1 Selección de la bomba de recirculación

**Tabla 3.1 Parámetros iniciales\***

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad del agua salada	1030	Kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad cinemática	$0.946 \times 10^{-6}$	m <sup>2</sup> /s
Presión atmosférica	101.3	kPa
Gravedad	9.8	m/s <sup>2</sup>
Calor específico	4072.6	$\frac{J}{kg \text{ } ^\circ C}$
Conductividad térmica	0.61	W/mK
Presión de vapor	4.5	KPa

\*Propiedades del agua de mar a 20 de Salinidad y 27 [°C] (Little, 1987)

Se inicia el cálculo con la selección de los puntos de referencia siendo 1 el punto inicial, como se muestra en la figura 3.1.

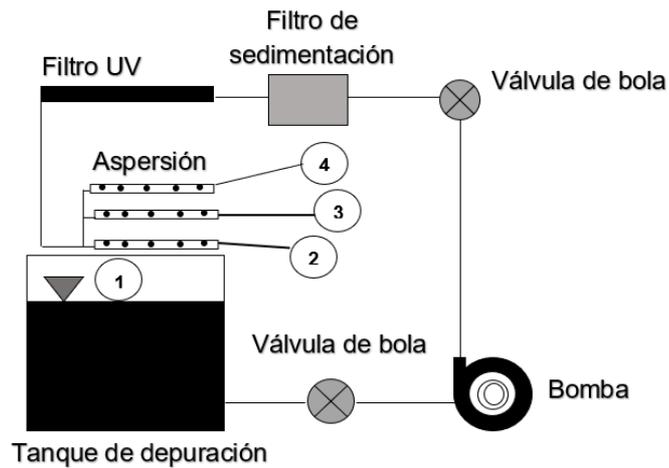


Figura 3.1 Puntos de referencia del sistema de depuración [Elaboración propia]

Por lo tanto, la ecuación de energía se presenta de la siguiente manera.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_{\text{Bomba}} = \left( \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right) + \left( \frac{P_3}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3 \right) + \left( \frac{P_4}{\rho g} + \frac{V_4^2}{2g} + Z_4 \right) + h_{L,\text{total}}$$

Consideraciones:

- La velocidad en el punto 1 es igual a cero.
- En el punto 1, 2, 3 y 4 las presiones son atmosféricas por lo tanto son igual a cero porque no son presiones manométricas.

La ecuación de energía se reduce a:

$$h_{\text{Bomba}} = \frac{V_4^2}{2g} + \frac{V_3^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_4 + Z_3 + Z_2 + h_{L,\text{total}}$$

### Diámetro de impulsión

$$D_{\text{impulsión}} = \left( 1.3 \left( \frac{\text{Horas de bombeo}}{24} \right)^{\frac{1}{4}} \sqrt{Q_{\text{sistema}}} \right) * 1000$$

$$D_{\text{impulsión}} = \left( 1.3 \left( \frac{42}{24} \right)^{0.25} \sqrt{3.33 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]} \right) * 1000$$

$$D_{\text{impulsión}} = 27.29 \text{ [mm]}$$

### Diámetro de succión

$$D_{\text{succión}} = \sqrt{\frac{4Q_{\text{sistema}}}{\pi V}}$$

$$D_{\text{succión}} = \sqrt{\frac{4(3.33 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right])}{\pi(0.4 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right])}}$$

$$D_{\text{succión}} = 32.65 \text{ [mm]}$$

El diámetro seleccionado para la tubería de **impulsión es de 32 [mm]** y para **succión es de 40 [mm]**.

### Caudal ajustado

$$Q_{\text{ajustado}} = \left( \frac{\pi D_{\text{impulsión}}^2}{4} \right) * V$$

$$Q_{\text{ajustado}} = \frac{3.1416 * (0.032 \text{ [m]})^2}{4} * 1 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$Q_{\text{ajustado}} = 8.04 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

### Pérdidas por cargas mayores y menores

$$Re = \frac{4Q_{\text{ajustado}}}{\nu \pi D_{\text{impulsión}}}$$

$$Re = \frac{4 * 8.04 * 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{0.946 * 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right] * \pi * 0.032 [m]}$$

$$Re = 33816.12$$

Como se trata de un flujo turbulento, se puede aplicar la ecuación de Haaland para calcular el factor de fricción para cargas mayores.

$$\frac{1}{\sqrt{f_{\text{accesorios}}}} = -1.8 \log \left[ \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{\epsilon}{\frac{D_{\text{impulsión}}}{3.7}} \right)^{1.11} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_{\text{accesorios}}}} = -1.8 \log \left[ \frac{6.9}{33816.12} + \left( \frac{\frac{0.0015 [mm]}{32 [mm]}}{3.7} \right)^{1.11} \right]$$

$$f_{\text{accesorios}} = 0.023$$

$$f_{\text{aspersión}} = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}$$

$$f_{\text{aspersión}} = \frac{1}{2+1} + \frac{1}{2 * 24} + \frac{\sqrt{2-1}}{6 * 24^2}$$

$$f_{\text{aspersión}} = 0.354$$

$$h_{\text{mayor}} = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$h_{\text{mayor}} = \left( 0.023 * \frac{0.52 [m]}{0.040 [m]} * \frac{0.4 \left[ \frac{m}{s} \right]^2}{2 * 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} \right)$$

$$h_{\text{mayor}} = 0.0061 \text{ [m]}$$

**Tabla 3.2 Pérdidas por cargas mayores por tramo de conducción [Elaboración propia]**

No de tramo	Reynolds [x10 <sup>4</sup> ]	Coefficiente de fricción	Pérdidas mayores [m]
1	3.87	0.024	0.0061
2	3.38	0.023	0.0764
3	-	-	3.0000
4	3.38	0.023	0.0622
5	2.93	0.025	0.0027
6	3.38	0.023	0.2144
7	3.38	0.354	1.0159
Total			4.3739

Se procede a determinar los factores de pérdidas por cargas menores utilizando los coeficientes de pérdidas de la tabla B.4. Se obtuvieron los valores que se aprecian en la tabla 3.3.

$$h_{\text{menor}} = \sum K_L * \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{\text{menor}} = \left( (10.75 + 0.44) * 0.4 \frac{\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{2 * 9.8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} \right)$$

$$h_{\text{menor}} = 0.0913 \text{ [m]}$$

Tabla 3.3 Pérdidas por cargas menores por tramo de conducción [Elaboración propia]

No de tramo	Velocidad del flujo [m/s]	Coefficiente de pérdidas (k)	Pérdidas menores [m]
1	0.4	11.19	0.0913
2	1.3	13.14	1.1329
3	1.3	-	-
4	1.3	3.43	0.2957
5	0.4	-	0
6	1.3	2.8	0.2414
7	1.3	0.61	0.0525
Total			1.8138

Finalmente, la pérdida total es:

$$h_{L,\text{total}} = h_{\text{mayor,total}} + h_{\text{menor,total}}$$

$$h_{L,\text{total}} = 4.3739 \text{ [m]} + 1.8138 \text{ [m]}$$

$$\mathbf{h_{L,\text{total}} = 6.1877 \text{ [m]}}$$

### Velocidad de aspersion

$$Q_1 = \#_{\text{agujeros}} Q_2$$

$$A_1 V_1 = \#_{\text{agujeros}} A_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{4 * Q_1}{\#_{\text{agujeros}} * \pi * d_{\text{agujero}}^2}$$

$$V_2 = \frac{4 * 8.04 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{24 * 3.1416 * 0.000025 \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$V_2 = 1.71 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$V_4 = V_3 = V_2$$

**Tabla 3.4 Velocidades del aspersor con respecto al diámetro y número de agujeros**  
**[Elaboración propia]**

No de agujeros	24	25	30	35	40
Diámetro de agujero [m]	Velocidad del flujo [m/s]				
0.003	4.74	4.55	3.96	3.25	2.84
0.004	2.67	2.56	2.24	1.83	1.60
0.005	1.71	1.64	1.43	1.17	1.02
0.006	1.19	1.14	0.10	0.81	0.71
0.007	0.87	0.86	0.73	0.60	0.52
0.008	0.67	0.64	0.56	0.46	0.40
0.009	0.53	0.51	0.44	0.36	0.32
0.01	0.43	0.41	0.36	0.29	0.26

Se optó por seleccionar un agujero de **5 mm con 24 agujeros** ya que con esta cantidad la salinidad del agua se encuentra dentro del rango requerido, es decir mayor a 3 mg/L, como muestra en la tabla A.1.

### Cabezal de la bomba

Al conseguir todos los datos ya se puede calcular la altura necesaria de la bomba.

$$h_{\text{Bomba}} = \frac{V_4^2}{2g} + \frac{V_3^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_4 + Z_3 + Z_2 + h_{L,\text{total}}$$

$$h_{\text{bomba}} = \frac{1.71 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{2 \left( 9.8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \right)} + \frac{1.71 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{2 \left( 9.8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \right)} + \frac{1.71 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^2}{2 \left( 9.8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \right)} + (0.97 \text{ [m]} + 0.67 \text{ [m]} + 0.37 \text{ [m]}) + 6.19 \text{ [m]}$$

$$h_{\text{bomba}} = 8.66 \text{ [m]}$$

## Potencia hidráulica

$$W_{\text{potencia,hidráulica}} = \rho g Q_{\text{ajustado}} H_{\text{bomba}}$$

$$W_{\text{potencia,hidráulica}} = 1030 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 9.8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] * 8.04 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] * 8.66 \text{ [m]}$$

$$W_{\text{potencia,hidráulica}} = 70.19 \approx 70 \text{ [W]}$$

$$W_{\text{potencia,hidráulica}} = 0.1 \text{ [HP]}$$

Para este caso, se selecciona una potencia mecánica con una eficiencia de 80%

$$W_{\text{mecánica}} = \frac{W_{\text{potencia,hidráulica}}}{0.8}$$

$$W_{\text{mecánica}} \approx 0.125 \text{ [HP]}$$

## RPM del motor hidráulico

$$W_{\text{mecánica}} = \omega * T$$

$$T = \rho * Q_{\text{ajustado}} * (r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1})$$

$$\omega = \frac{W_{\text{mecánica}}}{(\rho * Q_{\text{ajustado}} * (r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}))}$$

$$\omega = \left[ \frac{93.21 \text{ [W]}}{1030 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 8.04 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] * (0.016 \text{ [m]} * 1 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] - 0.020 \text{ [m]} * 0.4 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right])} \right] * \frac{2\pi}{60}$$

$$\omega = 1373 \text{ [RPM]}$$

## 3.2 Carga de aspiración positiva neta para determinar presencia de cavitación

En caso de que la presión en la entrada de la bomba es menor que la presión de vapor, es decir  $P < P_v$ , puede ocurrir cavitación. Por ello se determina el NPSH disponible del sistema que debe ser mayor al NPSH requerido.

$$\text{NPSH} = \left( \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_{\text{Entrada de la bomba}} - \frac{P_v}{\rho g}$$

Los puntos de referencia del sistema se observan en la siguiente figura.

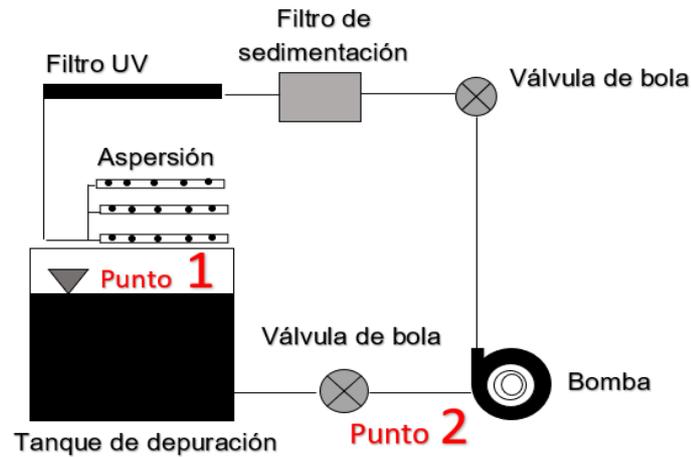


Figura 3.2 Puntos de referencia para determinar el NPSH [Elaboración propia]

Por consiguiente, la ecuación de energía:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{L,\text{total}}$$

Consideraciones:

- La velocidad en el punto 1 es cero.
- A pesar de que se encuentra una bomba en el sistema, no está entre los puntos 1 y 2. Por lo tanto no se considera en los cálculos.

Se despeja con el fin de tener la forma de la ecuación 3.11.

$$\frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_1}{\rho g} + (z_1 - z_2) - h_{L,\text{total}}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = \left( \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} \right)_{\text{Entrada de la bomba}} - \frac{P_v}{\rho g}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = \frac{P_{\text{atm}} - P_v}{\rho g} + (z_1 - z_2) - h_{L,\text{total}}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = \frac{101.325 \text{ [kPa]} - 4.5 \text{ [kPa]}}{1030 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 9.8 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} + (0.37) - 0.0936$$

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = \mathbf{0.47 \text{ [m]}}$$

Por lo tanto, al ser mayor que el NPSH requerido no se tendrá cavitación en el sistema de depuración.

### 3.3 Transferencia de calor en la aspersión

#### Transferencia de calor por convección para el primer aspersor

Para el aire:

En la superficie el agua transfiere calor al ambiente por medio de la convección natural, para esto se estableció la temperatura crítica del agua de  $T_{Superficie,agua} = 34.11\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$\dot{Q}_{Conv,aire} = hA_s(T_{Hot} - T_{Cold}) \quad (3,1)$$

$$\dot{Q}_{Conv,aire} = hA_s(T_{hot} - T_{cold})$$

$$\dot{Q}_{Conv,aire} = 15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} (0.7081 \text{ m}^2)(34.11^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C})$$

$$\dot{Q}_{conv,aire} = 75.52 \text{ W}$$

Para el agua:

Por conservación de la energía se calculó la temperatura final del agua salada en la superficie del tanque:

$$\dot{Q}_{Conv,agua} = hA_s(T_{hot} - T_{cold})$$

$$T_{Cold} = T_{hot} - \frac{\dot{Q}_{Conv,agua}}{hA_s} = (34.11^{\circ}\text{C}) - \frac{75.52 \text{ W}}{380 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} (0.7081 \text{ m}^2)} = 33,83^{\circ}\text{C}$$

## Temperatura media

Se necesitó encontrar la temperatura media, para encontrar las constantes Nu y k:

$$T_f = \frac{T_s + T_m}{2} \quad (3,2)$$

$$T_f = \frac{34.11 + 27}{2} = 30.55 \text{ °C}$$

Tomando en cuenta esta temperatura, para el cálculo se tuvo que interpolar, debido que el valor requerido no se encuentra en la tabla, por lo que se tomaron valores menores y mayores, obteniendo el siguiente resultado:

Punto A:

$$T_f = 30 \text{ °C}$$

$$k = 0.02588 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\nu = 1.608 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{Pr} = 0.7282$$

Punto B:

$$T_f = 35 \text{ °C}$$

$$k = 0.02625 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\nu = 1.655 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{Pr} = 0.7268$$

Interpolando cada variable para la temperatura  $T_f = 30.55 \text{ °C}$  se obtuvo:

Para k

$$k = \frac{0.02625 \frac{W}{mK} - 0.02588 \frac{W}{mK}}{35^{\circ}C - 30^{\circ}C} (30.55^{\circ}C - 30^{\circ}C) + 0.02588 \frac{W}{mK}$$

$$k = 0.0259207 \frac{W}{mK}$$

Para  $\nu$

$$\nu = \frac{1.655 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} - 1.608 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}}{35^{\circ}C - 30^{\circ}C} (30.55^{\circ}C - 30^{\circ}C) + 1.608 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\nu = 1.61317 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

Para Pr

$$Pr = \frac{0.7268 - 0.7282}{35^{\circ}C - 30^{\circ}C} (30.55^{\circ}C - 30^{\circ}C) + 0.7282$$

$$Pr = 0.728046$$

Con los parámetros previamente encontrados, se pudo calcular el número de Nusselt, sabiendo que:

$$\frac{\dot{q}_{conv}}{\dot{q}_{cond}} = \frac{h\Delta T}{k \frac{\Delta T}{L}} = \frac{hL}{k} = Nu \quad (3,3)$$

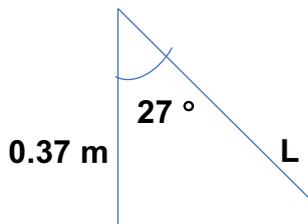
**Donde:**

$k$ = Conductividad Térmica  $[\frac{W}{mK}]$

$h$ = Coeficiente de transferencia de calor por convección  $[\frac{W}{m^2K}]$

$L$ = Longitud característica [m]

Debido a que los aspersores con diámetro de 0.005 metros y la velocidad del fluido es de  $2.95 \frac{m}{s}$  el agua depurada conserva las dimensiones radiales del agujero, permitiendonos asumir pequeños cilindros de agua, cuya longitud corresponde a:



**Longitud del chorro de agua**

$$L = 0.37 * \cos(27^\circ) = 0.3297 \text{ m}$$

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

(3,4)

$$Re = \frac{2.95 \frac{m}{s} * 0.3297 \text{ m}}{1.62 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 60040$$

Al ser régimen turbulento,

Además,

$$\frac{L}{D} > 10$$

Y el valor de Prandtl se encuentra entre 0.6 y 160

### Número de Nusselt

Con los valores anteriores se procedió el cálculo del número de Nusselt se lo realizó con la siguiente expresión:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (3,5)$$

$$Nu = (0.023)(60040^{0.8})(0.728046^{0.4})$$

$$Nu = 136$$

### Transferencia de calor por convección del agua nivel 1

$$h = \frac{Nu k}{L} \quad (3,6)$$

$$h = \frac{136 * 0.0259207 \frac{W}{mK}}{0.3297 m}$$

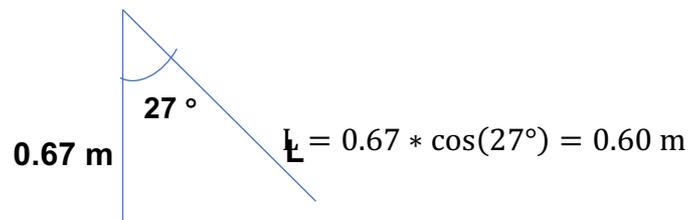
$$h = 11.05 \frac{W}{m^2K}$$

$$\dot{Q}_{agua,1} = hA_s(T_s - T_m)$$

$$\dot{Q}_{agua,1} = 11.05 \frac{W}{m^2K} * (2\pi * 0.0025m * 0.3297m)(34.11 - 27)K$$

$$\dot{Q}_{agua,1} = 0.41 W$$

Para el cálculo del siguiente nivel del aspersor



$$Re = \frac{VL}{\nu} = \frac{2.95 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.6 \text{ m}}{1.61317 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 109260$$

Para encontrar el número de Nusselt, se seleccionó para flujo turbulento (Incropera & De Witt, 1999):

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (3,7)$$

$$Nu = (0.023)(109260^{0.8})(0.728046^{0.4})$$

$$Nu = 218$$

**Transferencia de calor por convección del agua nivel 2**

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

$$h = \frac{218 * 0.0259207 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}{0.6 \text{ m}}$$

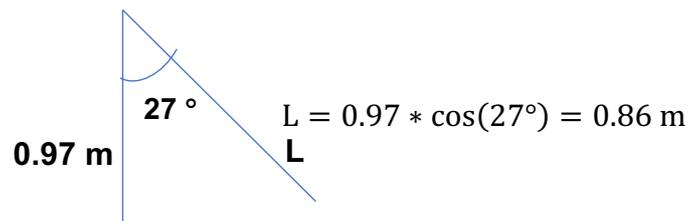
$$h = 10 \frac{W}{m^2K}$$

$$\dot{Q}_{\text{agua},2} = hA_s(T_s - T_m)$$

$$\dot{Q}_{\text{agua},2} = 10 \frac{W}{m^2K} * (2\pi * 0.0025m * 0.6m)(34.11 - 27)K$$

$$\dot{Q}_{\text{agua},2} = 0.67 W$$

Para el cálculo del siguiente nivel del aspersor



$$Re = \frac{VL}{\nu} = \frac{2.95 \frac{m}{s} * 0.86 m}{1.61317 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 157600$$

Para encontrar el número de Nusselt, se realizó:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

$$Nu = (0.023)(157600^{0.8})(0.728046^{0.4})$$

$$Nu = 292$$

### Transferencia de calor por convección del agua nivel 3

$$h = \frac{Nu_k}{L}$$
$$h = \frac{292 * 0.0259207 \frac{W}{mK}}{0.86 \text{ m}}$$
$$h = 8.9 \frac{W}{m^2K}$$

$$\dot{Q}_{\text{agua},3} = hA_s(T_s - T_m)$$
$$\dot{Q}_{\text{agua},3} = 8.9 \frac{W}{m^2K} * (2\pi * 0.0025 \text{ m} * 0.86 \text{ m})(34.11 - 27)K$$
$$\dot{Q}_{\text{agua},3} = 0.86 \text{ W}$$

La transferencia de calor total es:

$$\dot{Q}_{\text{total}} = \dot{Q}_{\text{agua},1} + \dot{Q}_{\text{agua},2} + \dot{Q}_{\text{agua},3} + \dot{Q}_{\text{Conv.Natural}}$$
$$\dot{Q}_{\text{total}} = 0.41 + 0.67 + 0.86 + 75.52$$
$$\dot{Q}_{\text{total}} = 77.46$$

$$\dot{Q}_{\text{agua,total}} = \dot{m}C_p(T_{\text{Caliente}} - T_{\text{Fria}}) \quad (3,8)$$

$$\dot{Q}_{\text{agua,total}} = (\rho VA)C_p(T_{\text{Caliente}} - T_{\text{Fria}})$$

$$T_{\text{Fria}} = 34.11 - \frac{77.46}{24 * 3 * \pi \left(\frac{0.005}{2}\right)^2 (1030) * (2.95) * (4.03)}$$

$$T_{\text{Fria}} = 29.64 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 3.4 Resumen

#### Selección de la bomba de recirculación

Para seleccionar la bomba se hicieron respectivas consideraciones señaladas en el capítulo 2, tanto para el cálculo de los diámetros de impulsión y succión, como también para las pérdidas de carga.

En la tabla 3.5 muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 3.5 Resultados de la nueva bomba de recirculación [Elaboración propia]**

$V_{\text{succión}}$	$0.40 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$
$V_{\text{impulsión}}$	$1.00 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$
$Q_{\text{requerido}}$	$3.33 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \text{ o } 19.98 \text{ LPM}$
$Q_{\text{ajustado}}$	$8.04 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \text{ o } 48.24 \text{ LPM}$
$h_{L,\text{total}}$	6.19 [m]
$h_{\text{necesario}}$	8.66 [m]
$W_{\text{potencia,hidráulica}}$	70 [W]
$\text{NPSH}_{\text{disponible}}$	0.47 [m]
$\omega_{\text{rotación}}$	1373 [RPM]

#### Transferencia de calor en la aspersion

**Tabla 3.6 Resultados de la disminución de temperatura en la aspersion [Elaboración propia]**

$T_{\text{caliente}}$	$T_{\text{frío}}$
34.11 °C	29.65

### 3.5 Análisis de costos

Los accesorios, equipos e instrumentos fueron cotizados en el mercado nacional. Para la solución con aumento de niveles de aspersión se consideraron la compra de 5 metros de tubería de 32 milímetros internos, con un espesor de 1.5 milímetros 4 conexiones de tipo T, teflón para uniones, dos codos de 90 grados, precio de mecanizado de las tuberías y el cobro por la asesoría y cálculos realizados.

La inversión inicial en materia prima es de \$50 dólares americanos, y la diferencia corresponde al valor de la asesoría y cálculos realizados. Al no necesitar préstamos para realizar el proyecto, y generar beneficios económicos relativamente buenos en relación con la inversión inicial, el valor del VAN y del TIR son positivos, siendo el TIR de 64% lo cual significa que la inversión será retornada en los primeros dos años de producción.

En conclusión, realizar la inversión tendrá un beneficio económico que permitirá al cliente recuperar la inversión y generar riquezas en los 6 años que se proyectan.

**Tabla 3.77 Flujo de caja sistema de aspersión a escala de laboratorio [Elaboración propia]**

	FLUJO DE CAJA - AUMENTO DE NIVELES DE ASPERSIÓN						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
<b>Beneficio neto</b>	-	200	250	300	350	400	500
<b>Inversión</b>	350	-	-	-	-	-	-
<b>Préstamo</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Gasto de interés</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Depreciación</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Valor residual</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Utilidad/Perdida</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Impuesto 12%</b>	42	24	30	36	42	48	60
<b>Flujo de caja</b>	-342	176	220	264	308	352	440
<b>VAN</b>	<b>\$796,83</b>						
<b>TIR</b>	<b>64%</b>						

Para el caso de la solución recomendada, se cotizaron diferentes bombas, sin embargo, la que se puede conseguir en el mercado nacional es una de 0.25 [HP], además de los accesorios necesarios, como los adaptadores para la tubería ya establecida, teflón, tornillos con sus respectivas arandelas, el estudio de la selección de la bomba y la asesoría brindada. En este caso el retorno de inversión demora unos meses más en retornar, sin embargo, las ganancias adicionales anuales también son mayores, lo que, en determinado caso, permite generar mayores beneficios a largo plazo.

**Tabla 3.8 8 Flujo de caja de la implementación de la nueva bomba de agua [Elaboración propia]**

	FLUJO DE CAJA - BOMBA DE AGUA						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
<b>Beneficio neto</b>	-	250	300	350	400	450	550
<b>Inversión</b>	480	-	-	-	-	-	-
<b>Préstamo</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Gasto de interés</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Depreciación</b>	-	20	5	5	5	5	5
<b>Valor residual</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Utilidad/Perdida</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Impuesto 12%</b>	58	30	36	42	48	54	66
<b>Flujo de caja</b>	-538	200	259	303	347	391	479
<b>VAN</b>	<b>\$748,18</b>						
<b>TIR</b>	<b>46%</b>						

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se ideó un sistema de bajo costo que permita disminuir la temperatura del agua que recircula por el sistema de depuración de moluscos bivalvos, permitiendo que los animales que se encuentran en este proceso, no se vean afectados por el cambio de su temperatura corporal, consiguiendo aumentar el peso por animal (Ministerio de Economía, Pesca y Turismo, 2018), ayudando a la par a mejorar los precios de venta y la competitividad del producto.
- Al ser un sistema de prueba en laboratorio, se tuvieron criterios y lineamientos que se debieron modificar para lograr cumplir con las necesidades y presupuestos establecidos por el cliente. Debido a esto se necesitó replantear soluciones ya que presentaban elevados costos de fabricación, haciendo que la depuración de los animales se vuelva económicamente imposible.
- Se realizaron pruebas al sistema actual localizado en el laboratorio de biología de la ESPOL, con la finalidad de identificar los problemas de raíz que ocasiona el aumento de temperatura en el agua, concluyendo que la parte del sistema que más transfiere calor es la bomba de agua instalada, haciendo imposible cambios o modificaciones de esta, debido a que sus costos son muy elevados.
- El sistema que se diseñó permite solucionar los problemas actuales de temperatura debido al sobredimensionamiento del tanque de depuración, ajustándose a las jornadas de 42 horas consecutivas que el cliente necesita para completar el proceso de depuración, sin necesidad de presentar problemas mecánicos.
- El sistema de depuración de moluscos bivalvos cuenta con cinco componentes importantes, la bomba que permite entregar energía al agua para su recirculación,

el filtro que retiene los sedimentos que generan los moluscos, la luz ultravioleta que es el encargado de eliminar bacterias y virus y por último los aspersores cuya función es oxigenar el agua, pero además ayudar a transferir calor al ambiente, manteniendo a los moluscos en un ambiente controlado y confortable.

- El sistema diseñado permite transferir calor usando la ley de enfriamiento de Newton ya que debido a las características del agua y del aire, se pudo idealizar el modelo como transferencia de calor por convección forzada (Incropera & De Witt, 1999), de esta forma se aumentó la distancia de contacto del agua con el ambiente, mientras que se añadieron dos niveles más de aspersión. La altura final de los aspersores fue de 0.97 metros tomando como nivel cero, el nivel del agua en el tanque, permitiendo disminuir el agua de 34.11°C a 29.64 °C.

- La selección del material para construcción de los dos niveles de aspersores eran limitados, se podía usar PVC o acero inoxidable. El acero inoxidable es ideal para esta implementación (Guerra, 2018), debido a que facilita la transferencia de calor a lo largo de la tubería, sin embargo, nuestro cliente solicitó no trabajar con este material, ya que los precios de implementación son significativamente más altos.

- Debido a la capacidad de la bomba instalada en el sistema de depuración, se calculó el cabezal necesario para las modificaciones que se realizarán. El sistema actual cuenta con una bomba de 1.5 Hp y un cabezal promedio de 17 metros, mientras que los cálculos obtenidos se necesita una bomba de mínimo 0.1 Hp y vencer un cabezal de 8 metros.

- Se elaboró un flujo de caja acorde a la inversión inicial requerida y los beneficios económicos que implica la modificación del sistema, cuyo resultado garantiza al cliente un retorno de su inversión en menos de un año de funcionamiento.

- Realizando las modificaciones en el sistema de aspersión se consigue un TIR de 64%, mientras que con la del cambio de bomba de agua el TIR arrojó un valor de 46%, que si bien es cierto indica que la solución 1 es mas rentable, la realidad es que es mayor debido a que su retorno de inversión es en menor precio, sin embargo,

analizando los valores a largo plazo, incluir una bomba cuyas especificaciones sean las correctas, tendrá una ganancia mayor, a pesar una depreciación anual del 2.5% de la bomba de agua.

- Los sistemas de depuración fabricados alrededor del mundo se enfocan en el aumento de temperatura del agua depurada, debido a su ubicación geográfica las condiciones climáticas de los países en donde se implementan estos sistemas son completamente distintos a la ciudad de Guayaquil, la temperatura del agua es muy baja y los moluscos se cierran (Polo, 2014), haciendo que sea imposible depurarlas, para esto se fabrican resistencias eléctricas de acero inoxidable, lo cual permite controlar la temperatura del agua consiguiendo los estándares recomendados por la FAO.

- En el país de México, delimitan ciertas zonas de las costas, donde la Red Mareográfica Regional monitoria la calidad del agua, la calidad de del substrato y la salud de los animales (Jorge C., 2014), sin embargo, los parámetros que se deben controlar requieren de componentes de mayor capacidad, son mas costosos y su mantenimiento es mas frecuente, aunque el habitat del molusco prácticamente no se ve afectado, a diferencia del sistema de depuración controlado diseñado, en donde se puede controlar mucho mas fácil los parámetros críticos, sin embargo, no se podrá conseguir un ambiente idéntico y factores externos como por ejemplo el sobredimensionamiento de la bomba hacen que se presenten variaciones en el ambiente creado.

## **4.2 Recomendaciones**

- Para futuras fabricaciones de sistemas de moluscos bivalvos, es recomendable utilizar una bomba cuya potencia sea la más cercana a 0.1 hp, debido que una mayor potencia desperdiciará mayor energía en forma de calor (Incropera & De Witt, 1999), haciendo que se gaste más kilovatios en el tiempo de funcionamiento, además en lugares donde la temperatura es alta, como la costa de Ecuador, la temperatura del agua en el sistema de depuración podría ser mucho más alta a la

recomendada por la FAO, haciendo que los animales se estresen y puedan perder masa corporal como efecto colateral.

- Es recomendable dar una dirección a los orificios de los aspersores, específicamente un ángulo de 27° medidos desde la vertical. (Lee, Lovatelli, & Ababouch, 2006)

- En el caso de que se desee conservar la bomba de 1.5 hp, se recomienda agrandar la capacidad de depuración de moluscos actual, de esta forma se tendrá menos pérdidas por ineficiencias en la bomba (Cengel & Ghajar, Cuarta edición), haciendo que la temperatura del agua en la recirculación sea menor.

- Es recomendable realizar una limpieza a los moluscos previo al ingreso a los tanques (Adrián & Ruiz, 2020), con la finalidad de disminuir las impurezas que pueden traer desde su habitat natural, de esta forma se puede disminuir la velocidad en la que los filtros se saturan, de esta forma se reduce las pérdidas de energía en el sistema ya que requiere una menor potencia la bomba.

- Es recomendable asegurarse de cubrir los 20 litros por minuto (Little, 1987), esto se puede medir usando el caudalímetro ubicado a la entrada de la luz ultravioleta, ya que el exceder este caudal no garantizara una depuración correcta a los moluscos.

- Es necesario realizar un control de oxígeno y temperatura al agua por lo menos 2 veces al día.

- Debido a las condiciones de funcionamiento, es necesario controlar el nivel del agua y su salinidad, ya que existe pérdidas de agua por evaporación, en caso de ser necesario, se debe añadir agua adicional al sistema para su correcto funcionamiento.

- Con la finalidad de evitar la manipulación del caudal de agua con la válvula ubicada a la salida de la bomba, es recomendable la instalación de una válvula en la entrada de la tubería que alimenta a los aspersores de agua, de esta forma controlar el flujo será mucho más fácil de manipular, en el caso de que no se pueda conseguir una bomba de 0.1 hp.
- El sistema actual cuenta con instrumentación mecánica para realizar las mediciones y controles de parámetros claves, como presión y caudal. Es recomendable la utilización de instrumentación electrónica, ya que permite conseguir lecturas con mayor precisión y su diferencia de precio es casi nula. (Adrián & Ruiz, 2020)
- Es necesario realizar una limpieza de tuberías de por lo menos cada 6 meses, ya que a medida que se va usando el sistema de depuración, se van desarrollando capas de microorganismos que contaminan el agua recirculando. Con la finalidad de evitar esta contaminación se debe realizar una limpieza profunda en el tiempo recomendado.
- Se recomienda realizar las perforaciones de los agujeros de aspersión usando equipos de protección personal, realizando primero guías con clavos y luego realizar las perforaciones con taladro convencional, o en su defecto realizar el trabajo en un centro de mecanizado que cuente con un taladro de columna y se pueda ajustar la posición de la tubería.
- No se recomienda añadir más niveles de aspersión al sistema, ya que, debido a la inclinación de los aspersores, el agua puede llegar a caer afuera del tanque de depuración, ocasionando pérdidas económicas ya que se necesitaría reponer dicha cantidad de agua compuesta, además de que podría ocasionar accidentes por pisos mojados y corrosión en materiales metálicos en el exterior.

# BIBLIOGRAFÍA

- ACP, V. (2010). *Información técnica de los materiales plásticos*. Valencia, España.
- Adrián, E., & Ruiz, P. (2020). *Diseño de un sistema de depuración para moluscos bivalvos con recirculación, a nivel de laboratorio [Tesis para la obtención de Título de Ingeniero Mecánico]*. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).
- Aigaje, J. V. (2018). *Maestría en Diseño Mecánico/Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos*. Quito, Ecuador.
- Alcaide, J. (2002). *Diseño de producto: métodos y técnicas*.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (Cuarta edición). *Transferencia de calor y masa*. México: Mc Graw Hill Companies, Inc.
- Christiansen, J. E. (1942). *Irrigation by Sprinkling*. Berkeley, California: University of California College of Agriculture.
- Cocker, L. (March 2018). *Operating Manual for the Bulk Bin system for Mussels*. Pyke and Deane Aquaculture Consultants.
- Dubbert, J., F., D., & Aranda-Burgos, J. (2016). *Beneficial effects of carpet shell clam (*Ruditapes decussatus*) depuration during short periods of conditioning in shellfish hatchery: Role of the temperature and phytoplankton on reduction and diversity of vibrios*. Elsevier B.V.
- Guerra, J. E. (2018). *Evaluar criterios hidráulicos de selección para equipos de bombeo eficientes siguiendo un procedimiento simplificado*. Santa Clara, Cuba.
- Incropera, F. P., & De Witt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor 4a. ed.* México : Prentice Hall.
- Jorge C., R. V. (2014). *Manejo para el cultivo de moluscos bivalvos*. Ciudad de México: OIRSA-OSPESCA.
- Lee, R., Lovatelli, A., & Ababouch, L. (2006). *Depuración de bivalvos: aspectos fundamentales y prácticos*. Roma, Italia.
- Little, B. J. (1987). *A synopsis of the chemical/physical properties of seawater*. Texas.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (Séptima edición). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Ministerio de Economía, Pesca y Turismo. (2018). *Control Sanitario de Moluscos Bivalvos*. Sernapesca.

Norton, R. L. (Cuarta edición). *Diseño de Máquinas*. Pearson .

Oliveira, J., Cunha, A., & Castilho, F. (2010). *Microbial contamination and purification of bivalve shellfish: Crucial aspects n monitoring and future perspectives - A mini-review*. Elsevier Ltd.

Otwell, W., Rodrick, G., & Martin, R. (1991). *Molluscan Shellfish Depuration*. London: CRC Press, Inc.

Polo, D. (2014). *Control y eliminación de virus entéricos en moluscos bivalvos y agua mediante sistemas de depuración y desinfección solar*. Universidade de Santiago de Compostela, España.

White, F. M. (Sexta edición). *Mecánica de Fluidos*. McGraw Hill Companies, Inc.

# APÉNDICE

## APÉNDICE A. Datos críticos del sistema de depuración

**Tabla A.1 Identificación experimental de las propiedades del mejillón de los diferentes tanques en el laboratorio CIBE, ESPOL [Elaboración propia]**

Fecha	24/11/21		25/11/21
Hora	09:55	16:30	10:08
<b>Tanque A</b>			
pH	7,99	7,89	7,88
ORP	223,9	201,6	202,3
% Oxígeno	82,3	81,5	75,9
mg/LDO	5,43	5,1	4,92
mStm	31,57	31,98	32,93
ppt Tck	15,79	15,99	16,47
PSU	19,5	19,71	20,4
$\sigma_0$	15,6	15,8	16,3
<b>°C</b>	<b>31,44</b>	<b>34,11</b>	<b>32,26</b>
<b>Tanque B</b>			
pH	7,93	7,86	7,89
ORP	233,4	206,4	200,4
% Oxígeno	83,4	82,9	75,5
mg/LDO	5,54	5,22	4,93
mStm	33,14	33,65	34,84
ppt Tck	16,57	16,83	17,42
PSU	20,59	20,87	21,75
$\sigma_0$	16,5	16,7	17,4
<b>°C</b>	<b>30,62</b>	<b>33,37</b>	<b>31,33</b>
<b>Tanque C</b>			
pH	7,9	7,76	7,78
ORP	239,9	212,8	183,4
% Oxígeno	85,5	82,6	83,8
mStm	33,08	33,58	34,58
ppt Tck	16,54	16,79	17,29
PSU	20,58	20,83	21,57
$\sigma_0$	16,5	16,7	17,3
<b>°C</b>	<b>29,4</b>	<b>32,97</b>	<b>31,36</b>

## APÉNDICE B. Consideraciones para la selección de la bomba de recirculación

Los diámetros del sistema de tubería se seleccionan en base a los diámetros de succión e impulsión de la bomba. Para determinarlos se utilizó el caudal de circulación del agua recomendada por la FAO. En la tabla B.1, se observa que el valor mínimo para 500 litros es de 20 l/min. Por otro lado, de la tabla B.2 se selecciona la velocidad de conducción de líquidos de 0.4 [m/s] a la entrada de la bomba y 1 [m/s] a la salida de la bomba.

**Tabla B.1 Caudales mínimos estandarizados en el Reino Unido \***

Velocidades mínimas de circulación especificadas en el Reino Unido para sistemas de diseño estándar					
<b>Tipo de sistema</b>	Pequeña escala 500 – 600 litros	Media escala 2000 – 2500 litros	Gran escala 4000 – 4500 litros	Contenedor a granel 1100 litros	Pila vertical 650 litros sumidero
<b>Caudal mínimo</b>	20 l/min	208.3 l/min	158.3 l/min	108.3l/min	15 l/min
<b>Velocidad de circulación</b>	$1.4m^3/h$	$12.5m^3/h$	$9.5m^3/h$	$6.5m^3/h$	$0.9m^3/h$

\* (Lee, Lovatelli, & Ababouch, 2006)

**Tabla B.2 Velocidades establecidas para conducción de líquidos \***

Fluido	Tipo de Fluido	Velocidad (m/s)
Líquido poco viscoso	Flujo por gravedad	0.15-0.30
	Entrada de la bomba	0.30-0.90
	Salida de la bomba	1.00-3.00
	Línea de conducción	1.00-2.40

\* (McCabe, Smith, & Harriot, Séptima edición)

### Consideraciones de las pérdidas de cargas mayores y por accesorios

La tabla B.4 muestra la división por tramos del sistema, para mantener el orden en los cálculos.

- Pérdidas de cargas mayores
  - La rugosidad del material PVC es de 0.015 [mm], como se observa en la tabla B.3 con su respectiva referencia.
  - La pérdida de carga en el filtro de sedimentos se obtuvo experimentalmente, colocando dos manómetros en la entrada y la salida del filtro, que marcaron un diferencial de presión de 0.3 [Bar], con este valor utilizando la expresión  $\Delta_p = \rho_{\text{fluido}} g h_{\text{filtro, sedimentos}}$ , dio como resultado una pérdida de 3 [m].
- Pérdidas de carga por accesorios
  - La B.4 la cantidad de accesorios que contiene cada tramo con sus valores respectivos obtenidos del libro de Mecánica de Fluidos de Frank M. White (2004).

**Tabla B.3 Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales \***

$\epsilon$				
Material	Condición	Ft	mm	Incertidumbre
Latón	Laminado Nuevo	0,000007	0,002	$\pm 50$
Plástico	Tubo Laminado	0,000005	0,0015	$\pm 60$
Vidrio	---	Liso	Liso	---
Caucho	Liso	0,000033	0,01	$\pm 60$

\* (White, Sexta edición)

**Tabla B.4 Coeficientes de pérdidas por sus accesorios en los tramos del sistema\***

No. Tramo	Tramo de conducción		Longitud [cm]	Diámetro de conducción [mm]	Accesorios	Cantidad de accesorios	Coeficiente de pérdidas (k)
	Desde	Hasta					
1	Salida del tanque	Entrada de la bomba	52	40	Válvula de bola 40 [mm]	1	10.75
					Codo de 90° 40 [mm]	1	0.44
2	Salida de la bomba	Entrada del filtro	135	32	Válvula check 32 [mm]	1	2
					Válvula de bola 32 [mm]	1	9.6
					T pegable 32 [mm]	1	0.23
					Codo de 90° 32 [mm]	2	0.38
					Reductor de 63 [mm] a 32 [mm]	1	0.55
3	Entrada de filtro de sedimentos	Salida de filtro de sedimentos	-	-	-	-	-
4	Salida del filtro	Entrada esterilizador ultravioleta	110	32	Reductor de 63 [mm] a 32 [mm]	1	0.55
					Válvula check 32 [mm]	1	2
					Codo de 90° 32 [mm]	2	0.38
					Reductor de 38 [mm] a 32 [mm]	1	0.12
5	Esterilizador		72	50	-	-	-
6	Salida del esterilizador	Entrada de la aspersión	159	32	Reductor de 38 [mm] a 32 [mm]	1	0.29
					Codo de 90° 32 [mm]	5	0.38
7	Entrada de la aspersión	Salida de la aspersión	180	32	Codo de 90° 32 [mm]	1	0.38
					T pegable 32 [mm]	1	0.23

\* (White, Sexta edición)

## APÉNDICE C. Especificaciones técnicas de la bomba seleccionada

### Bombas Caracol

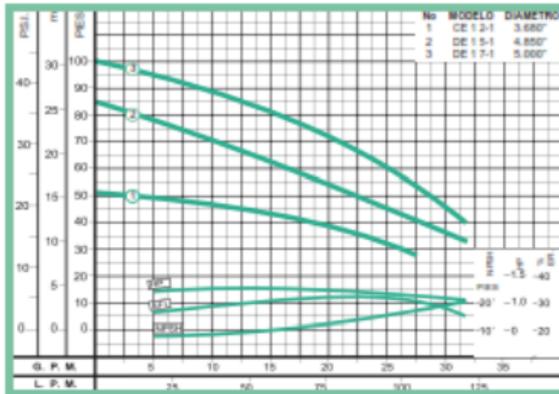


#### Características de la bomba

Tipo de bomba	Centrifuga
Tipo de acoplamiento	Monobloque
Tipo de impulsor	Cerrado en plástico
Cantidad de impulsores	1
Tipo de cierre del eje	Sello mecánico 5/8" tipo 6
Temperatura Max. Líquido	158°F (70°C)

Modelo	Ref.	Succión	Descarga	Potencia (HP)	Fases	Amperaje		H max. (mca) *	Q max. (GPM) **
						110 V	220 V		
CE 1 2-1	1A0074	1"	1"	0,25	Monofásico	7,5	-	17	25
DE 1 5-1	0101BC0002	1 1/4"	1"	0,50	Monofásico	10,4	5,2	26	32
DE 1 7-1	1A0076	1 1/4"	1"	0,75	Monofásico	13,6	6,6	26	32

#### Curva de rendimiento



#### Características del Motor

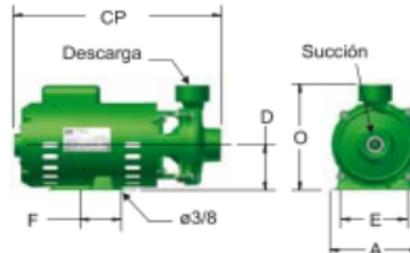
Velocidad	3.450 RPM (nominal)
Diseño	CE 1 2-1→ Nema 50 DE 1 5-1→ Nema 56J
Aislamiento	Clase B
Factor de servicio	1.15
Frecuencia	60 Hz

#### Materiales

Cuerpo	Hierro fundido ASTM A-45, Clase 20
Impulsor	Noryl
Sello mecánico	Carbón / Cerámica / Buna-N
Acople intermedio	Hierro fundido ASTM A-45, Clase 20
Empaques	Buna Nitrilo

#### Dimensiones generales (mm)

Modelo	CP	O	D	F	A	E	Peso
CE 1 2-1	31,5	17,5	8,9	7,62	16,6	12,35	6,4 kg
DE 1 5-1	33,6	20,0	8,9	7,62	16,6	12,35	13,1 kg
DE 1 7-1	34,2	20,0	8,9	7,62	16,6	12,35	14,4 kg



#### Doméstico

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Llenado de tanques elevados
- Llenado tanque bajo-tanque alto
- Recirculación de agua en piscinas



#### Agrícola

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Lavado de establos
- Llenado de tanques y bebederos
- Riego por aspersión
- Riego por goteo



#### Industria

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Recirculación de agua en torres de enfriamiento
- Refrigeración de maquinaria / Circuitos de recirculación
- Sistemas de Presión



#### Construcción

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Recirculación de agua en piscinas
- Sistemas de Presión



#### Institucional

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Plantas de tratamiento

Figura C.1 Catálogo de la bomba seleccionada, INMERA C.A. Piscinas, Bombas de agua, Tanques Hidroneumáticos

## APÉNDICE D. Especificaciones técnicas de las propiedades en el cálculo de transferencia de calor

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico $c_p$ $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974

Figura D.1 Propiedades del aire a 1 atm de presión, (White, Sexta edición)

**FIGURA 4**  
**GRAFICO PSICROMETRICO**  
 TEMPERATURAS NORMALES  
 PRESION ATMOSFERICA  
 92,600 KPa  
 ALTITUD: 750 m.

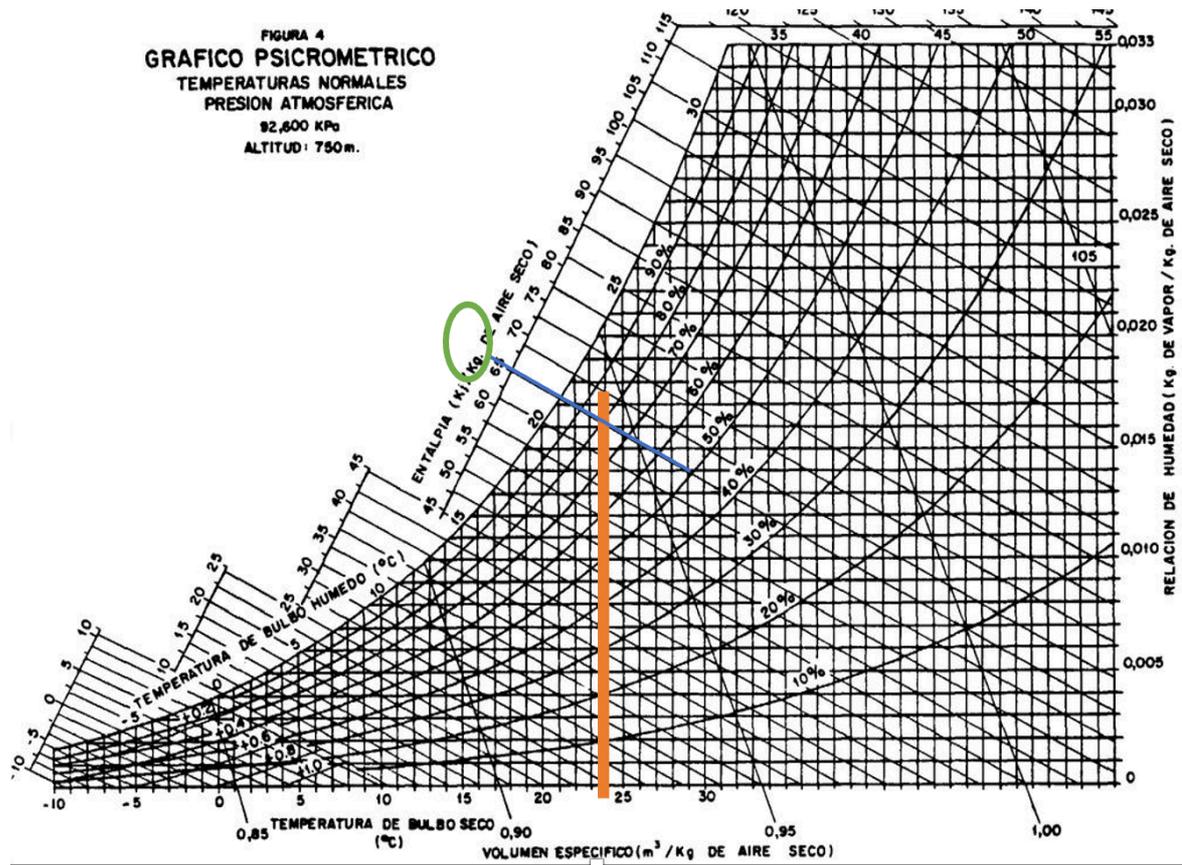


Figura D.2 Carta psicrométrica - propiedades del aire ambiente (White, Sexta edición)

## APÉNDICE E. Dimensiones de la aspersion y el tanque de depuración sistema de depuración

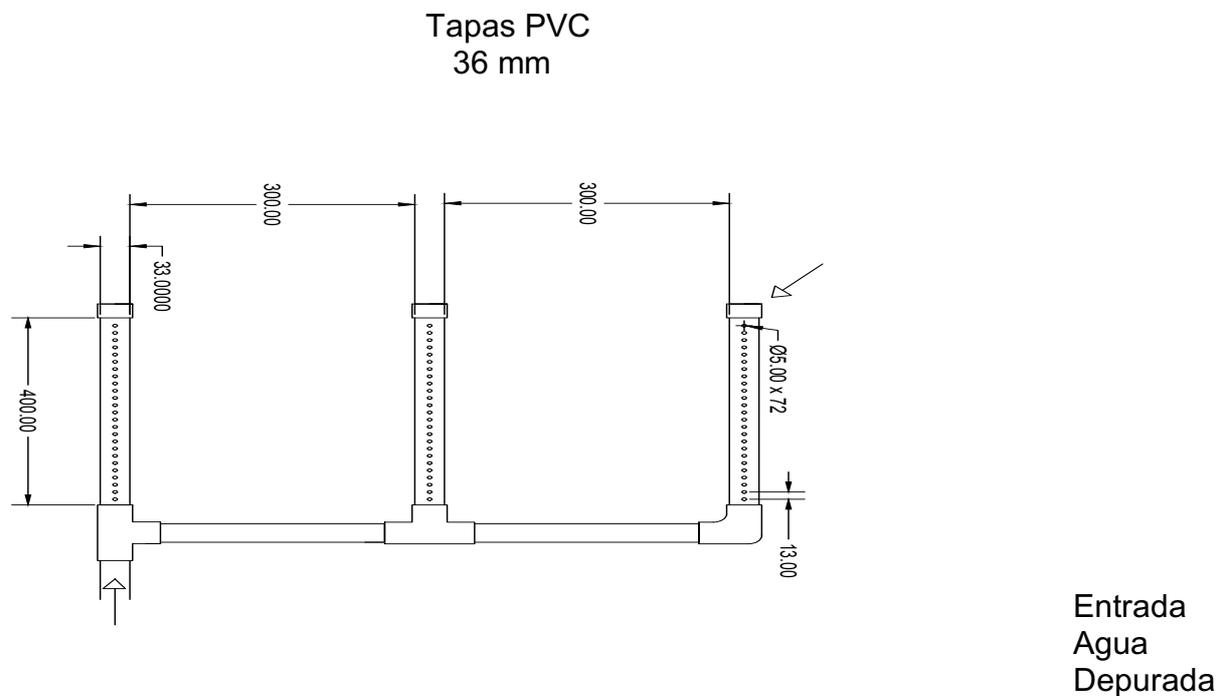


Figura E.1 Dimensiones del sistema de aspersion [Elaboración propia]

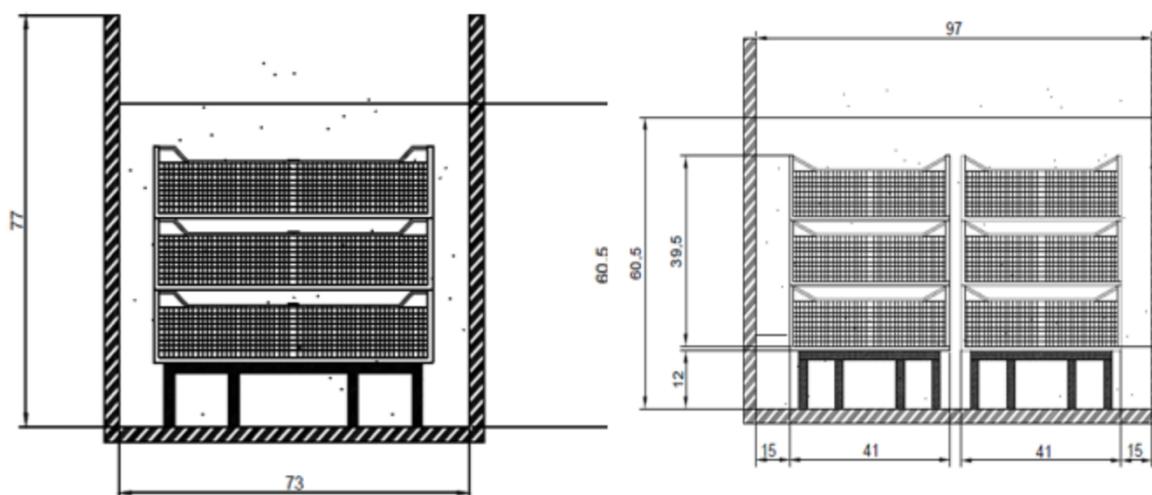


Figura E.2 Dimensiones del tanque de depuración [Elaboración propia]

## APÉNDICE F. Cálculos del soporte de aspersión, falla estática

Se procede a determinar si la configuración de aspersión soporta el peso del agua que fluye por la tubería y también el peso de las tuberías. Al notar que cada tubería es igual, y aunque se encuentren a diferentes alturas, esta diferencia es despreciable. Es decir que el análisis solo se realizará en una tubería, y será igual para todas. En la figura F.1 se puede apreciar la forma del tubo de aspersión con las cargas aplicadas.

La masa del agua se calcula,

$$\begin{aligned}m_{\text{agua}} &= V * \rho \\m_{\text{agua}} &= (\pi * r^2 * L) * \rho \\m_{\text{agua}} &= (3.1416 * (0.016 \text{ m})^2 * 0.4 [\text{m}]) * 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\m_{\text{agua}} &= 0.33 [\text{kg}] \\ \text{Peso}_{\text{agua}} &= 3.24[\text{N}]\end{aligned}$$

La masa del tubo PVC es:

$$\begin{aligned}m_{\text{pvc}} &= V * \rho_{\text{pvc}} \\m_{\text{pvc}} &= (\pi * L) * (R^2 - r^2) * \rho_{\text{pvc}} \\m_{\text{pvc}} &= (3.1416 * 0.4[\text{m}]) * (0.034[\text{m}]^2 - 0.032[\text{m}]^2) * \left(1400 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]\right) \\m_{\text{pvc}} &= 0.23 [\text{kg}] \\ \text{Peso}_{\text{pvc}} &= 2.25 [\text{N}]\end{aligned}$$

Se procedió a realizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector

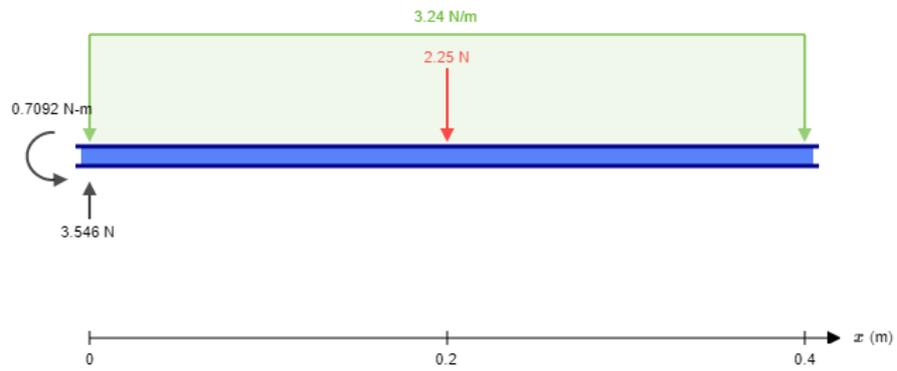


Figura F.1 Esquema de cargas sobre la barra de aspersión, software Skyciv [Elaboración propia]

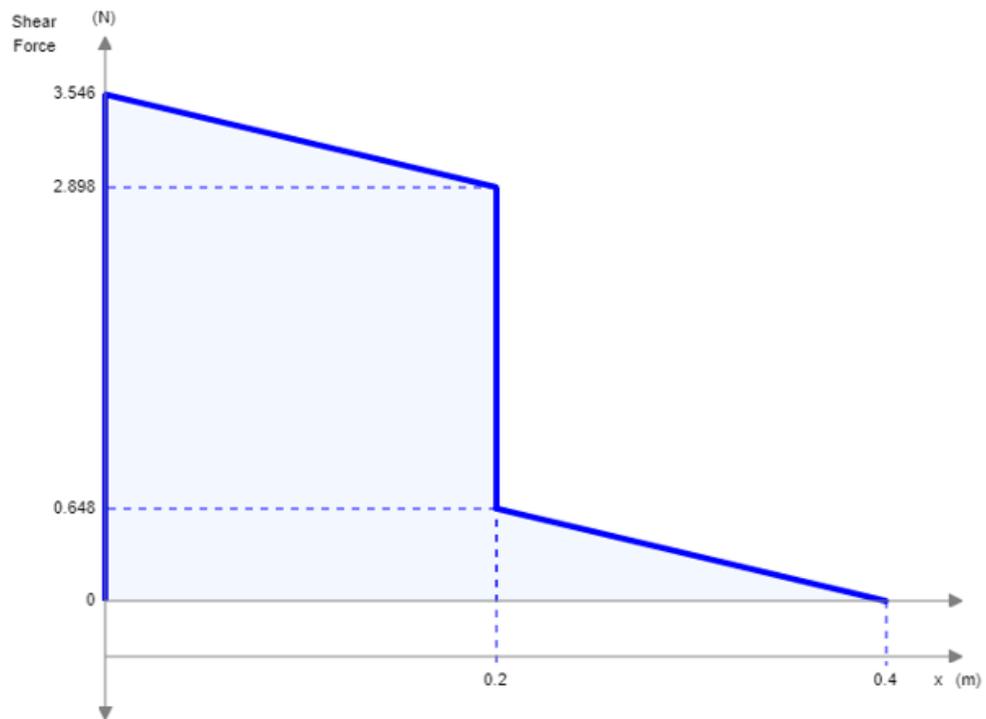


Figura F.2 Diagrama de fuerzas cortantes de la barra de aspersión, software Skyciv [Elaboración propia]

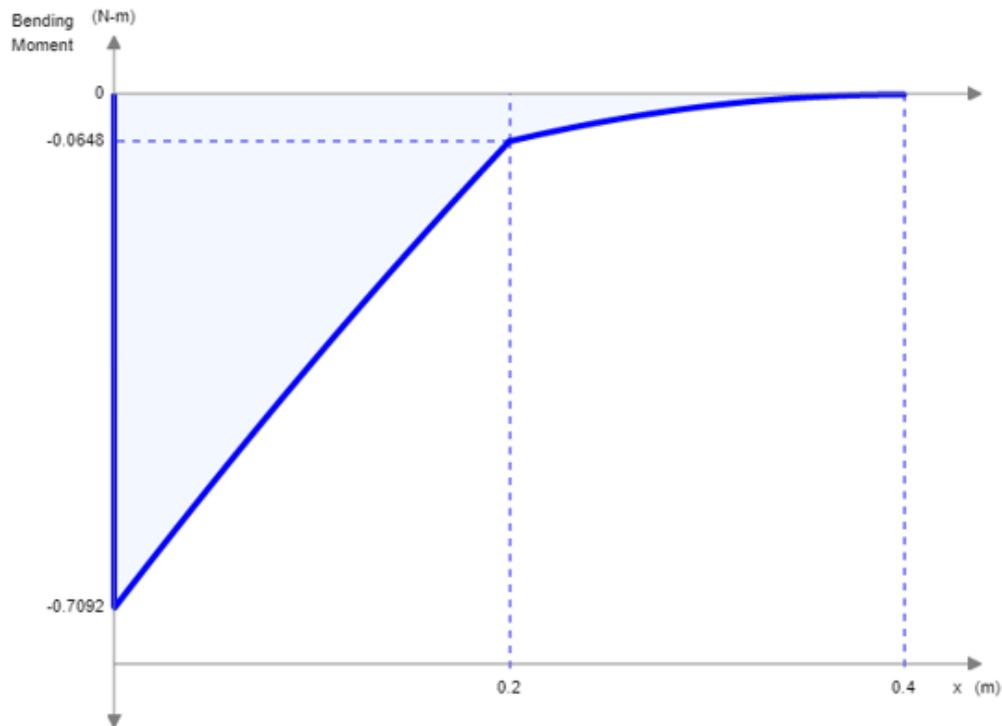


Figura F.3 Diagrama del momento flector de la barra de aspersión, software Skyciv [Elaboración propia]

Se observa, que el momento flector y la fuerza cortante máxima ocurren en el empotramiento de la viga, por lo que se continuó analizando los esfuerzos en este punto. Se toma en cuenta que la viga empotrada es una tubería PVC, de 0.032 [m] de diámetro, cuyo esfuerzo de fluencia  $S_y$  es 50 [MPa] (ACP, 2010).

El área es igual:

$$A_{pvc} = \pi * (R^2 - r^2)$$

$$A_{pvc} = \pi * (0.017^2 - 0.016^2)$$

$$A_{pvc} = 1.04 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]}$$

El momento de inercia del área respecto al eje neutro:

$$I = \frac{\pi}{4} * (R^4 - r^4)$$

$$I = \frac{3.1416}{4} * (0.017^4 - 0.016^4)$$

$$I = 1.41 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$$

Con los valores presentes se procedió a calcular los esfuerzos máximos.

Esfuerzo de flexión:

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

$$\sigma = \frac{0.7092 \text{ [N * m]} * 0.016 \text{ [m]}}{1.41 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}}$$

$$\sigma = 0.81 \text{ [MPa]}$$

Lo multiplico por 3 al ser tres barras

$$\sigma = 2.43 \text{ [MPa]}$$

Esfuerzo cortante:

Al ser viga redonda hueca y con una pared delgada donde su espesor (0.002 [mm] < 1/10 del radio exterior), entonces el esfuerzo cortante máximo se lo puede aproximar con la siguiente ecuación. (Norton, Cuarta edición)

$$\tau = \frac{2V}{A_{pvc}}$$

$$\tau = \frac{2 * 3.55 \text{ [N]}}{1.04 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$\tau = 2.05 \text{ [MPa]}$$

Se multiplica por 3,

$$\tau = 6.15 \text{ [MPa]}$$

Mediante la teoría de falla de Von Mises obtenemos el factor de seguridad:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{(2.43 \text{ [MPa]})^2 + 3(6.15 \text{ [MPa]})^2}$$

$$\sigma' = 10.92 \text{ [MPa]}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$\eta = \frac{50 \text{ [MPa]}}{10.92 \text{ [MPa]}}$$

$$\eta = 4.58$$

## **APÉNDICE G. Información Complementaria**

### **G.1 Acondicionamiento en el sistema de depuración de moluscos bivalvos**

El acondicionamiento es un parámetro crucial para los moluscos bivalvos, por su sensibilidad al cambio de temperatura que causa la proliferación de microorganismos bacterianos, perjudicando la calidad del producto depurado. (Oliveira, Cunha, & Castilho, 2010) Un rango de temperatura irregular induce un estrés en el animal perjudicando la eficiencia de purificación. Disminuir la temperatura permitirá que el molusco se mantenga vivo por más tiempo, sin embargo, tarda el tiempo de depuración, así mismo se deben evitar las temperaturas elevadas de agua. Por lo tanto, Un sistema de depuración controlada termostáticamente evitará las fluctuaciones de temperatura, aumentando la eficacia del sistema de depuración. (Dubbert, F., & Aranda-Burgos, 2016)

Dependiendo del estado climático en el que se encuentre el sistema de depuración, se puede utilizar unidades de calefacción o refrigeración. Una de las técnicas recomendadas es utilizar una serpentina de un material no corrosivo que ingrese al tanque de depuración apartada de los moluscos, que sea controlada por un termostato, con el fin de mantener la temperatura dentro del rango requerido. También se puede controlar la temperatura de varios tanques de depuración, controlando la temperatura ambiente del laboratorio en el que se encuentren. (Lee, Lovatelli, & Ababouch, 2006)

### **G.2 Complementos para la obtener la transferencia de calor cuando el coeficiente de convección no esta tabulado**

El número de Nusselt se utiliza para relacionar transferencia de calor, en donde se divide la transferencia de calor por convección en la conductividad térmica del material que se encuentra en reposo.

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

**Donde:**

$k$  = Conductividad Térmica  $[\frac{W}{mK}]$

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección  $[\frac{W}{m^2K}]$

$L$  = Longitud característica [m]

En muchos casos, es posible que no se encuentre en tablas el coeficiente de transferencia por convección, es allí donde el número de Nusselt permite encontrarlo mediante la ecuación (1,3), sin embargo, para encontrarlo es necesario seguir los siguientes pasos;

Paso 1

Encontrar el tipo de régimen, laminar o turbulento; se lo realiza mediante la ecuación

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Donde:

$V$  = Velocidad del fluido  $[\frac{m}{s}]$

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

$L$  = Longitud característica [m]

Paso 2

Comparar la longitud que recorre el fluido y el diámetro transversal del mismo, si la relación es mayor a 10 y el régimen es turbulento, entonces se puede utilizar la ecuación (1.5);

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

Donde

$Nu$  = Número de Nusselt

$Pr$  = Número de Prandtl

El número de Prandtl se lo encuentra usando la tabla C.2

## APÉNDICE H. Alternativas de selección

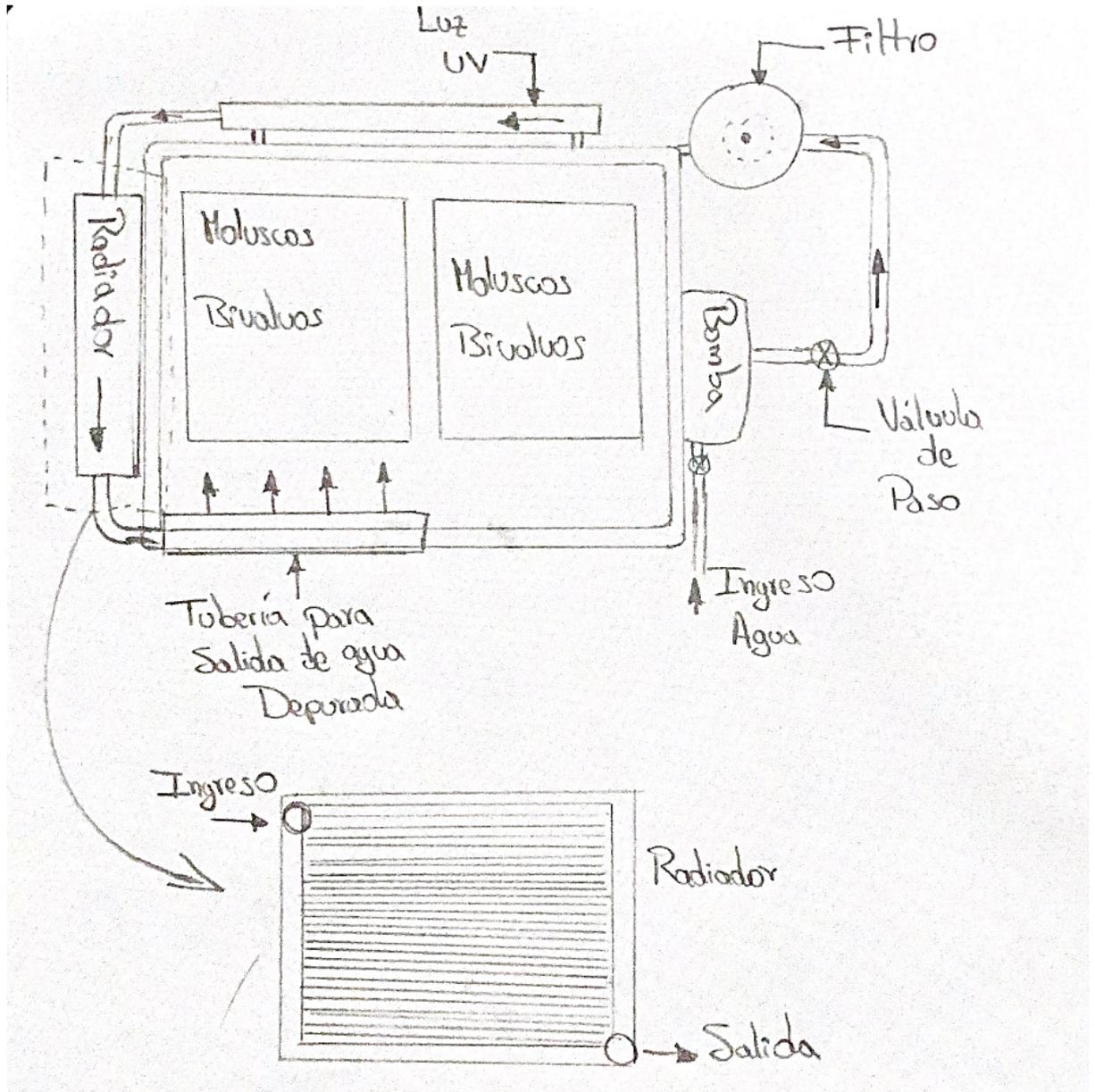


Figura H.1 Boceto correspondiente a la alternativa A, radiador, vista de planta [Elaboración propia]

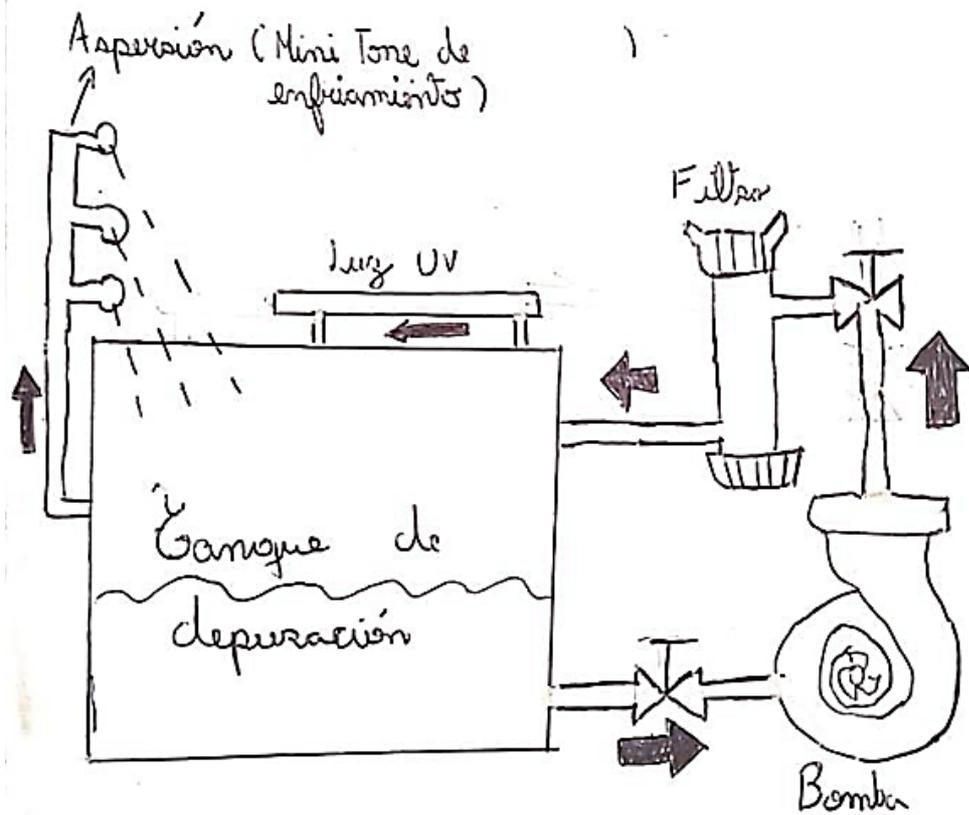


Figura H.2 Boceto correspondiente a la alternativa B, mini torre de enfriamiento, vista frontal [Elaboración propia]

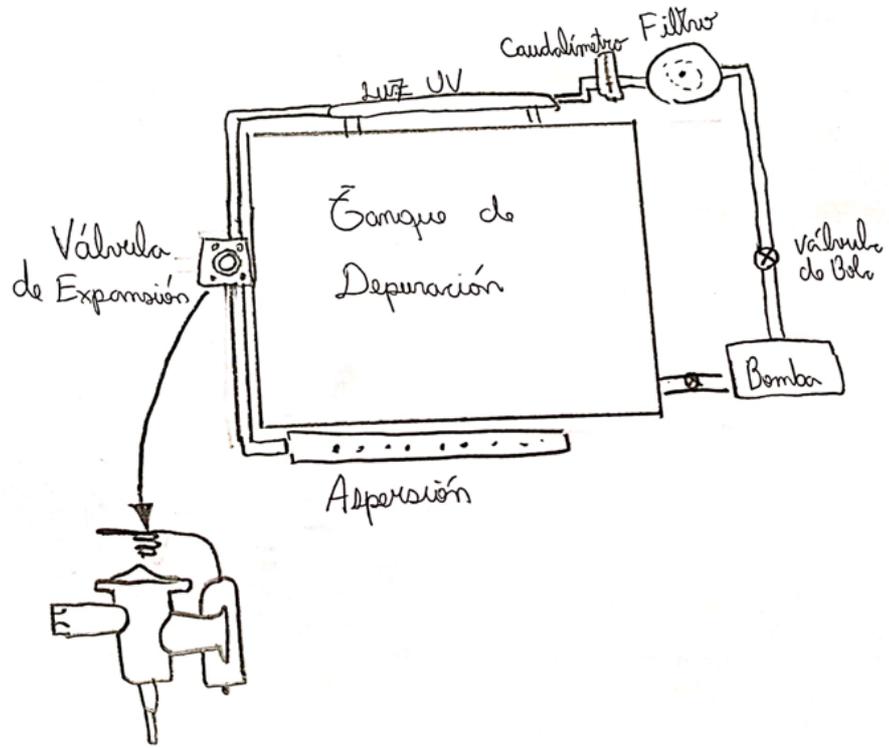


Figura H.3 Boceto correspondiente a la alternativa C, válvula de expansión termostática, vista de planta  
[Elaboración propia]