

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Sistema de depuración de moluscos bivalvos con recirculación a nivel de
laboratorio: Evaluación y socialización”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:
Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Mario Iván Moreno Fajardo

Diego Alejandro Noblecilla Bustamante

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia porque ha tenido la paciencia y la confianza de ayudarme en todas las etapas de mi carrera en especial a mi madre María de Lourdes Fajardo Vargas que se esfuerza cada día para que sigamos adelante. También les dedico este proyecto a mis profesores que fueron mis guías en este camino, compañeros de trabajo y mis jefes inmediatos del trabajo que me han tenido paciencia hasta el día de hoy.

Mario Iván Moreno Fajardo.

Este proyecto va dedicado a mis padres, quienes me dieron su apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica y siempre confiaron en mis capacidades, gracias por inculcar en mi los valores y virtudes que me han convertido hoy en la persona que soy.

**Diego Alejandro Noblecilla
Bustamante**

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por estar con vida y por darme la paciencia y el interés para hacer las cosas, a mi familia y también un agradecimiento a Jefferson Cobeña, un ilustre personaje que me ayudó en gran parte en la construcción de esta obra, a mis tutores y a Diego Noblecilla mi compañero, lo cual hemos logrado llegar a la culminación de esta etapa.

Mario Iván Moreno Fajardo.

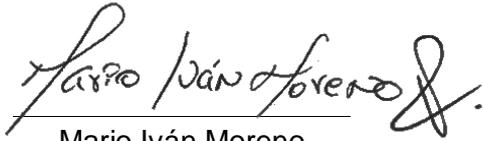
Agradezco a toda mi familia por siempre estar conmigo de una manera u otra, especialmente a mis abuelos Vicente y Guillermina, ya que su ilusión de verme convertido en un profesional ha sido en muchas ocasiones la fuerza de empuje que requería para seguir adelante.

Finalmente quiero dar mis agradecimientos a mi compañero Mario Moreno por toda la paciencia que me brindo a lo largo de este arduo proceso, sin él este proyecto no se hubiese podido llevar a cabo.

**Diego Alejandro Noblecilla
Bustamante.**

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Mario Iván Moreno Fajardo y Diego Alejandro Noblecilla Bustamante 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”



Mario Iván Moreno
Fajardo



Diego Alejandro
Noblecilla Bustamante

EVALUADORES

Jorge Silva León, PhD,
PROFESOR TUTOR

Emérita Delgado Plaza, PhD
PROFESORA DE LA MATERIA

RESUMEN

Los principales peligros que se vinculan al consumo de moluscos están asociados a la contaminación de las aguas donde habitan. Es un tema alarmante puesto que estas especies pasan de su habitat natural a su comercialización, sin entrar antes por un proceso de limpieza y desinfección. Por lo tanto, se tiene la necesidad de realizar un sistema de depuración para moluscos a pequeña escala para socializar sus beneficios y que cumpla con las máximas exigencias de la FAO y la norma INEN 2729 para así ofrecer un producto con los más altos estándares de calidad y que certifique su comercialización. El desarrollo del estudio empezó analizando el estudio de las características fisiológicas de los moluscos, donde la Biología forma parte del estudio, luego se usó criterios de recirculación de agua por medio de bombas y redes de tuberías, selección de materiales y criterios de limpieza y desinfección, donde formó un gran papel la mecánica de fluidos. Al final se obtuvo un sistema de depuración con tres estaciones para diferentes tipos de espacios de moluscos.

Los resultados obtenidos dentro del periodo pertinente mostraron que tuvo una factibilidad aceptable para los posteriores exámenes microbiológicos.

Todo esto da un valor agregado dentro de la comercialización de estos moluscos al entregar un alimento libre de contaminantes, por lo que el sistema puede ser replicado para socializarlo con las comunas que se dedican a la actividad de recolección de estas especies abriendo camino a la posibilidad de exportación de estos productos a mercados internacionales lo cual representaría un incremento en los ingresos de estas personas

Palabras Clave: moluscos, depuración, recirculación, mecánica de fluidos

ABSTRACT

The main dangers that are linked to the consumption of molluscs are associated with the contamination of the waters where they live. It is an alarming issue since these species pass from their natural habitat to their commercialization, without first entering through a cleaning and disinfection process. Therefore, there is a need to carry out a purification system for small-scale molluscs to socialize their benefits and that meets the highest requirements of the FAO and the INEN 2729 standard in order to offer a product with the highest quality standards and that certifies its commercialization.

The development of the study began by analyzing the study of the physiological characteristics of molluscs, where Biology is part of the study, then criteria of water recirculation by means of pumps and pipe networks, selection of materials and criteria of cleaning and disinfection were used, where fluid mechanics formed a great role. In the end, a purification system with three stations was obtained for different types of mollusc spacing.

The results obtained within the relevant period showed that it had an acceptable feasibility for subsequent microbiological examinations.

All this gives an added value within the commercialization of these mollusks by delivering a food free of contaminants, so the system can be replicated to socialize it with the communes that are dedicated to the activity of collecting these species opening the way to the possibility of exporting these products to international markets which would represent an increase in the income of these people

Keywords: *molluscs, purification, recirculation, fluid mechanics*

INDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1	2
1. Introducción	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Justificación del problema	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Marco teórico	5
1.5.1 Mecánica de fluidos.	5
1.5.2 Sistemas de depuración por recirculación.....	5
1.5.3 Sedimentación y filtración.	6
1.5.4 Filtros de bolsa de precisión.	7
1.5.5 Sistema de tuberías y accesorios.	7
1.5.6 Bomba de recirculación para agua salada.	9
1.5.7 Sistema de aspersión	9
1.5.8 Unidad esterilizadora ultravioleta.	10
1.5.9 Especies que necesitan depurarse	10
1.5.10 Organismos indicadores.	11
CAPÍTULO 2.....	14
2. Metodología.....	14
2.1 Proceso de diseño.....	14
2.2 Requerimientos del cliente	14
2.2.1 Desarrollo de un proceso de diseño.....	14
2.2.2 Árbol de objetivos.	15

2.2.3	Tabla de comparación por pares: Una forma de clasificar por categorías.	15
2.3	Restricciones: identificación de límites.	16
2.4	Instalaciones del laboratorio para el sistema de recirculación.	17
2.5	Análisis funcional	19
2.5.1	Especificaciones para la depuración de bivalvos.	19
2.5.2	Caja negra y transparente para la depuración de bivalvos.	19
2.5.3	Árbol de funciones y medios para la depuración de bivalvos.	20
2.6	Diseño conceptual	21
2.6.1	Requerimientos técnicos	21
2.7	Criterios de selección	21
2.8	Selección de las mejores alternativas:	22
2.8.1	Conexión de las alternativas con los objetivos ponderados y sistemas de medición	22
2.8.2	Primera alternativa: Sistema de recirculación con instrumentación y medición mecánica.	24
2.8.3	Segunda alternativa: Sistema de recirculación con instrumentación y medición Electrónica.	24
2.8.4	Selección de la mejor alternativa (1-2)	25
2.8.5	Tercera alternativa: Tanque fabricado a la medida en fibra de vidrio con disposición cónica.	25
2.8.6	Cuarta alternativa: Adquisición de tanque comercial con inclinación lateral y utilización de emparrillamiento para evitar la resuspensión de material sedimentado.	26
2.8.7	Selección de la mejor alternativa (3-4)	27
2.9	Diseño preliminar	28
2.10	Condiciones de entrada de los moluscos	29
2.11	Especificación de los componentes del sistema de depuración.	29
2.11.1	Tanque de depuración.	29
2.11.2	Gavetas para moluscos.	29
2.11.3	Filtro de sedimentación.	30
2.11.4	Esterilizador ultravioleta.	30
2.11.5	Diseño del sistema de circulación y tuberías.	31
CAPÍTULO 3		37
3.	Análisis y resultados	37
3.1	Dimensionamiento de tanques	37
3.2	Dimensionamiento de las gavetas	37

3.3	Capacidad del sistema de depuración.....	38
3.4	Selección de la bomba de recirculación.	39
3.5	Selección del filtro para sedimentos.	40
3.6	Selección del esterilizador ultravioleta.....	41
3.7	Selección de los agujeros del tubo de aspersión.....	42
3.8	Diseño de soporte para gavetas.....	43
3.9	Diseño de soporte para filtro UV.....	44
3.10	Selección de base de sistema.....	44
3.11	Análisis de costos	45
3.11.1	Costo de componentes.	46
3.11.2	Costos por manos de obra.....	48
3.11.3	Costo total del proyecto.	49
3.11.4	Plan de mantenimiento preventivo.....	49
CAPÍTULO 4.....		53
4.	Conclusión Y Recomendación	53
4.1	Conclusión	53
4.2	Recomendación	55
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICE		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
FAO	Food and Agricultural Organization
BOE	Boletín oficial del Estado Español
NMP	Número Más Probable
NPSH	Net Positive Suction Head
CODEX	Código de alimentación
UNT	Unidad nefelométrica de turbidez
HDPE	Polietileno de alta densidad.
PVC	Policloruro de vinilo
ADN	Ácido desoxirribonucleico
UV	Ultravioleta
AISI	American Iron and Steel Institute.

SIMBOLOGÍA.

μ	micra
m	Metro
cm	centímetro
mm	Milímetro
nm	nanómetro
mm ²	Milímetro cuadrado
m ²	Metro cuadrado
mm ³	Milímetro cúbico
cm ³	Metro cúbico
m ³	Metro cúbico
g	gramo
kg	kilogramo
Pa	Pascal
kPa	Kilopascal
bar	Bar de presión
atm	Atmósfera
s	Segundo
min	Minuto
h	Hora
m ² /s	Metro cuadrado por segundo
kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
m/s ²	Metro por segundo cuadrado
m/s	Metro por segundo
gal	Galones
HP	Caballos de fuerza
W	Vatio
mg/L	Miligramo por litro
N	newton
L/min	Litro por minuto
gal/min	Galón por minuto
m ³ /s	Metro cúbico por minuto

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de tanque de sedimentación.....	6
Figura 1.2 Filtro de bolsa de precisión.....	7
Figura 1.3 Bomba de recirculación	9
Figura 1.4 Unidad esterilizadora para agua potable.	10
Figura 2.1 Diagrama de fases del proceso de diseño.....	14
Figura 2.2 Vista de satélite de las instalaciones	18
Figura 2.3 Planos de las instalaciones de laboratorio.....	18
Figura 2.4 Representación gráfica de la caja negra.	19
Figura 2.5 Representación gráfica de la caja transparente.....	20
Figura 2.6 Vista frontal y lateral de un tanque comercial	28
Figura 2.7 Diseño de forma del sistema de depuración.....	29
Figura 2.8 Gavetas de moluscos del tipo GPC C1479.....	30
Figura 2.9 Distribucion de los equipos.....	31
Figura 2.10 Red de tuberías de recirculación y descarga de sedimentos luego de un..... examen microbiológico.....	32
Figura 2.11 Red de tuberías de recirculación y descarga. Vista en 3D.....	32
Figura 3.1 Dimensiones estimadas para la selección del tanque para depuración.	39
Figura 3.2 Curva de operaciones para la selección de bombas	40
Figura 3.3 Filtro de sedimentación y su respectiva ubicación en el Sistema	41
Figura 3.4 Filtro de lámpara UV y ubicación de en el Sistema.....	42
Figura 3.5 Gráfica de velocidad de flujo a la salida del aspersor vs diámetro de los..... orificios.....	42
Figura 3.6 Estructura para el emparrillamiento para cargas	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Accesorios de PVC. Serie mixta para encolar y enroscar.	8
Tabla 1.2 Accesorios de PVC. Serie especial para encolar.	8
Tabla 1.3 Variedad de moluscos bivalvos para comercialización	11
Tabla 1.4 Organismos indicadores en los moluscos bivalvos.	12
Tabla 2.1 Tabla de comparación por pares. [Elaboración propia].....	16
Tabla 2.2 Conceptos y normas aplicables en las estaciones depuradoras	17
Tabla 2.3 Especificaciones funcionales del sistema de depuración para moluscos..... bivalvos.	21
Tabla 2.4 Tabla morfológica para la selección de alternativas de diseño con respecto a.... la instrumentación que se desea emplear	23
Tabla 2.5 Tabla morfológica para la selección de alternativas de diseño con respecto..... al manejo de los sedimentos que se desea emplear.	23
Tabla 2.6 Tabla morfológica con primera alternativa de solución para el sistema..... de depuración.	24
Tabla 2.7 Tabla morfológica para la segunda alternativa de solución para el sistema..... de depuración	25
Tabla 2.8 Tabla morfológica con tercera alternativa de solución para el sistema de..... depuración	26
Tabla 2.9 Tabla morfológica para la cuarta alternativa de solución	27
Tabla 2.10 Tabla de conclusiones para la primera etapa de alternativas	27
Tabla 2.11 Tabla de conclusiones para la segunda etapa de alternativa.....	28
Tabla 2.12 Gavetas para purificación de moluscos	30
Tabla 3.1 Cargas de las gavetas en función de las especies a depurar.	37
Tabla 3.2 Dimensiones de la gaveta para sistema de depuración.....	38
Tabla 3.3 Resultados con respecto a la normativa correspondiente.	38
Tabla 3.4 Valores determinados para el diseño del sistema de depuración	39
Tabla 3.5 Oxígeno Disuelto [OD] para las estaciones de depuración.	43
Tabla 3.6 Resumen de los esfuerzos cortantes máximos.....	43
Tabla 3.7 Componentes del sistema de depuración con sus respectivos valores de..... masa y peso.....	45
Tabla 3.8 Costos por materiales para sistema de depuración para moluscos bivalv....	46
Tabla 3.9 Costos de los componentes eléctricos.....	48

Tabla 3.10 Costo de mano de obra para la instalación del sistema de depuración.....	49
Tabla 3.11 Costo total del sistema de depuración a escala de laboratorio	49
Tabla 3.12 Identificación de posibles fallos funcionales y posibles consecuencias.....	50
Tabla 3.13 Tiempo en horas para la depuración anual.....	51
Tabla 3.14 Costo anual por mantenimiento del sistema de depuración.....	52

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Sistema de depuración con recirculación. Escala laboratorio.

PLANO 2 Estación para depuración y sus componentes

PLANO 3 Diseño de armadura a utilizar como soporte de gavetas.

PLANO 4 Tuberías de desagüe para el sistema de depuración.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Desde el año de 1990 Ecuador inició con la acuicultura de moluscos bivalvos, han transcurrido poco más de 30 años y hasta la fecha en el país no se han presentado una política estatal acorde a las exigencias que demanda la explotación de estos recursos. (Alvarez, Sonnenholzner, & Stern, 2008). Por lo que los acuicultores no han logrado una producción que sobrepase el consumo local, siendo estos moluscos obtenidos de su ecosistema natural y no criados en cautiverio, así como se hace con otras especies como el camarón y la trucha.

Al ser especies filtradoras que se obtienen directamente de los manglares (Correoso, 2018) , estos son portadoras de distintos tipos de bacterias y virus que pueden generar en los consumidores enfermedades y problemas gastrointestinales (Sorroza et al., 2018) , razón por la cual varios países a nivel mundial han estandarizado un proceso de depuración para estas especies con la finalidad de que eliminen la mayor cantidad posible de estos patógenos, volviéndolos así alimentos aptos para el consumo humano (Uriarte et al., 2008) por lo que se espera que el proyecto tenga un gran impacto en relación con la salud pública.

Se presenta este sistema de depuración ante la necesidad del Ecuador, no solo como una medida de prevención contra posibles enfermedades en la población, sino también como una manera de llevar estos alimentos a un mercado internacional, causando un impacto positivo en la economía de los pequeños grupos de recolectores de moluscos bivalvos que existen en la costa ecuatoriana, contribuyendo así con la sostenibilidad de las comunidades según los objetivos de un desarrollo sostenible.

En el tema ambiental, al hacer uso del agua como fluido para la depuración, debemos elaborar un sistema sea racional con el uso del agua, para ello se

propone un sistema de recirculación donde el agua pasara por filtros que la vuelvan reutilizable para el proceso la mayor cantidad de veces posible.

Se pretende que el futuro ingeniero mecánico adquiriera las destrezas y conocimiento necesario que le permita continuar con este proyecto partiendo de un estudio antes realizado, donde se plantea desarrollar la construcción y evaluación de un proceso de depuración para moluscos a nivel de laboratorio, proyectado a satisfacer necesidades de las comunidades de pescadores y recolectores de especies marinas de la costa del país.

1.2 Antecedentes

Una investigación realizada por estudiantes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador pudo dar a conocer que la calidad de agua de los ríos Teaone y Atacames se encontraba en un promedio de duda (Oleas, Bravo, & Clevel, 2017). Pero esto tiene gran impacto puesto que hay puertos de recolección donde los moluscos son llevadas para su respectiva comercialización.

Aunque el ámbito de este proyecto tiene un alcance a escala de laboratorio, la importancia de depurar trasciende a niveles de interés tanto social, económico así como también ambiental, a más de tomar en consideración la inocuidad alimentaria. Esto indica que entre la fase de recolección y venta se omite y no existe una etapa de verificación en donde permita garantizar la certificación de que el producto recolectado es apto para el consumo humano. Por lo tanto, se quiere dar énfasis a reglamentaciones internacionales que pueden ayudar a la fabricación del sistema, tema de interés de este proyecto. En una fase anterior a este proyecto se ha diseñado un sistema de depuración a nivel de laboratorio y a nivel comercial, en este caso se realizó un estudio donde fueron establecidos requerimientos y necesidades del sistema de depuración.

En el trabajo realizado por Adrián & Ruiz (2020) "Diseño de un sistema de depuración para moluscos bivalvos con recirculación, a nivel de laboratorio". Se logró un diseño funcional que utiliza agua de mar para la depuración de

moluscos cuidando la fisiología de dichas especies, procurando mantener una salinidad, temperatura y pH controlados para evitar un posible estrés y altas concentraciones de productos metabólicos en la especie durante el proceso de depuración.

1.3 Justificación del problema

Los contaminantes que contienen los moluscos bivalvos pueden causar enfermedades en los seres humanos, porque los mariscos suelen comerse crudos o ligeramente cocidos (Lee, Lovatelli, & Ababouch, 2010). Para dar solución a este problema, se ha desarrollado una técnica que viene siendo realizada por distintos países alrededor del mundo conocida como depuración, la cual consiste en sumergir las distintas especies de moluscos bivalvos en tanques de agua salada previamente tratada para que estas especies al continuar con su proceso natural de filtración de su medio, vayan eliminando los contaminantes de sus branquias y su tracto intestinal durante un período determinado de tiempo evitando a la vez que el animal se vuelva a contaminar. (Lee et al., 2010)

Este proyecto tiene como finalidad realizar un estudio con respecto al sistema de depuración, para lo cual elaborará el diseño y montaje de una planta de depuración a escala de laboratorio, para realizar las pruebas y evaluaciones que determinen su factibilidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el diseño y operación de un sistema de depuración con recirculación de agua, a nivel de laboratorio, socializando sus beneficios.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el diseño y funcionamiento del sistema de depuración para moluscos bivalvos a nivel de laboratorio.
- Realizar ajustes necesarios en el sistema, para cumplir con las recomendaciones de la FAO, en cuanto a movilización de aguas.
- Elaborar un plan de mantenimiento del sistema.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Mecánica de fluidos.

Se define a la mecánica de fluidos como la ciencia que estudia el comportamiento de los fluidos y las leyes que lo rigen (Çengel, 2018), esta cubre los principios y ecuaciones básicas que permitirán el desarrollo de problemas y proyectos, entre ellos aquellos donde se requiera un diseño de sistemas de tuberías. (Ecuación de Bernoulli y continuidad, hidrodinámica, tipo de corriente y flujo, radio hidráulico, rugosidad de las tuberías). Todos estos temas serán abordados para el sistema de depuración lo cual ayudará a dar criterios confiables y eficientes en la toma de decisiones.

1.5.2 Sistemas de depuración por recirculación.

Son sistemas donde se reutiliza agua que está continuamente en un proceso de limpieza y desinfección, a través de un conjunto de procesos y componentes, con el fin de depurar organismos acuáticos. Los sistemas de recirculación o sistemas cerrados presentan como ventaja, el uso racional del agua ya que el volumen de recambio es menor a un 10% diario del volumen total del sistema (Industria Acuicola, 2012). Este tipo de sistemas permite el monitoreo y control de los parámetros fisicoquímicos tales como: la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, el potencial de hidrogeno (pH), la alcalinidad y los metabolitos como el nitrógeno amoniacal, los nitritos y los nitratos. El control de los parámetros fisicoquímicos permite la producción continua a lo largo del año (Lee et al., 2010), además si se mantiene los parámetros fisicoquímicos adecuados los organismos cultivados pueden presentar mejores tasas de crecimiento y conversión alimentaría (Wheaton, 1977).

Los podemos definir como la tecnología que permite el cultivo y depuración de especies marinas a mayor intensidad. Dentro de un sistema de recirculación, se encuentra un ambiente totalmente controlado, donde el agua circula a través del sistema pasando por un sistema de purificación, y un pequeño porcentaje de agua es reemplazado diariamente. Los residuos sólidos son filtrados y removidos, se incorpora oxígeno para mantener

concentraciones suficientes para la densidad de especies en cultivo, Y por último el efluente es tratado en biofiltro para la conversión biológica del nitrógeno amoniacal a nitrato.

Según Merino & Sal (2007) “Sistemas de recirculación y tratamiento de agua”. El sistema de recirculación es necesario cuando:

- Hay déficit de agua y existe un aumento de auto contaminación.
- Cuando hay que tratar el agua y el reciclaje representa una disminución del costo energético.

1.5.3 Sedimentación y filtración.

La sedimentación es uno de los procedimientos más apropiados para la implementación de un sistema de recirculación de agua en un ciclo cerrado y para un sistema abierto se necesitan volúmenes de agua muy grandes. Es importante considerar que el agua no debe ser perturbada durante el período de sedimentación. Como se observa en la Figura 1.1 un tanque de sedimentación debe contener llaves de paso para el drenaje de los sedimentos o sólidos en la inferior del tanque y válvulas para la salida y el retorno del agua clarificada. (Seafish, 2018)

La filtración en un sistema de depuración puede realizarse tanto para un sistema abierto como uno cerrado (recirculación); sin embargo, para el caso de un sistema con recirculación el tipo de filtración va a depender de la cantidad de circulación en la unidad. Los filtros suelen usarse previo al proceso de la desinfección.

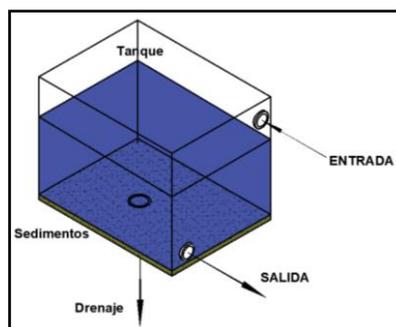


Figura 1.1 Esquema de tanque de sedimentación. [Elaboración propia]

1.5.4 Filtros de bolsa de precisión.

Para evitar que material fecal suspendido sea retornado al sistema para desinfectarlo es necesario un filtro de bolsa el cual retenga gran parte de los materiales fecales que son recirculados. La empresa Lenntech (2021), expresa que una “bolsa de filtro trabaja por el principio de la micro filtración. El líquido es purificado en bolsas pasando a través de poros permeables y estas pueden ser utilizadas en grandes cantidades de agua”. Por lo tanto estos equipos son importantes para el sistema a convenir.



Figura 1.2 Filtro de bolsa de precisión. [Elaboración propia]

1.5.5 Sistema de tuberías y accesorios.

Para un sistema de depuración, la conducción del líquido será transportado a través de un tubo. “Las tuberías de PVC y sus accesorios son aquellas fabricadas de policloruro de vinilo, estabilizantes, lubricantes y colorantes, debiendo estar exentas de plastificantes y cargas” (Martínez, 1993, p. 44) A su vez los accesorios de PVC se clasifican en:

- Serie lisa para encolar: tienen sus paredes interiores lisas en todas sus salidas.
- Serie mixta: Tienen lisa sus paredes interiores en todas las salidas menos en una que será de sección roscada.
- Series especiales: son accesorios que no son de conexión o de derivación, son aquellos que tienen una finalidad concreta y pueden presentar extremos lisos o enroscados.

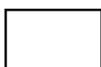
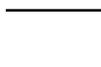
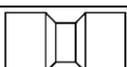
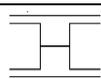
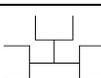
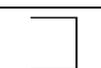
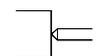
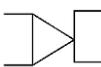
En las tablas 1.1., y 1.2., se pueden apreciar la clasificación antes descrita y tales simbologías serán utilizadas a lo largo de este texto.

Tabla 1.1 Accesorios de PVC. Serie mixta para encolar y enroscar.

Figura	Símbolo	Designación
		Enlace Mixto
		Codo rosca 90°
		Terminal rosca macho
		Manguito reducción rosca
		Tapón rosca

Nota: Los accesorios mostrados son los más comunes para adaptar a las necesidades y situaciones de los sistemas de tuberías de PVC para encolar y roscar. Se puede observar la simbología respectiva para cada accesorio mostrado. Esta tabla sido adaptada de "Hidráulica aplicada a proyectos de riego", por M. A. Martínez, 1993, Universidad de Murcia, p, 48. Copyright 1993 por Miguel Martínez.

Tabla 1.2 Accesorios de PVC. Serie especial para encolar.

Figura	Símbolo	Designación
		Manguito de unión.
		Manguito doble copa
		Enlace desmontable
		Codo 90°
		Te
		Tapón Hembra
		Manguito reductor
		Reducción cónica

Nota: Los accesorios mostrados son los más comunes para adaptar a las necesidades y situaciones de los sistemas de tuberías para encolar. Se puede observar la simbología respectiva para cada accesorio mostrado. Esta tabla sido adaptada de "Hidráulica aplicada a proyectos de riego", por M. A. Martínez, 1993, Universidad de Murcia, p, 49. Copyright 1993 por Miguel Martínez.

1.5.6 Bomba de recirculación para agua salada.

Para un sistema de depuración con sistema cerrado, lo óptimo como mecanismo de bombeo es utilizar una bomba centrífuga. Esta bomba succiona el agua desde el reservorio el cual deberá situarse lo más cerca posible para el suministro. La bomba centrífuga convierte la energía mecánica de un motor eléctrico en energía cinética y potencial. El motor eléctrico a través de acoplamientos permite la rotación del propulsor, y generalmente se encuentra ubicado en la carcasa de la bomba.



Figura 1.3 Bomba de recirculación [Elaboración propia]

1.5.7 Sistema de aspersión

Un aspersor se considera un dispositivo mecánico, que se encarga de transformar un fluido líquido en rocío, lo cual brinda al fluido la oportunidad de oxigenarse, para este proyecto se optó por boquillas que contienen un ángulo de disparo, que para su efecto 27° es el más eficiente. (Lee R., Lovatelli A. y Ababouch L., 2010).

Para el sistema de depuración los moluscos se alimentan en un ambiente natural filtrando agua todo el tiempo, por lo tanto, la depuración se encarga de darles agua limpia y purificada todo el tiempo. Cuando esto ocurre es necesario que los niveles de oxígeno sean los adecuados para garantizar la actividad fisiológica de los moluscos.

1.5.8 Unidad esterilizadora ultravioleta.

Es la encargada de eliminar todos los microorganismos que están asociados a los moluscos, es un potente germicida, utiliza longitudes de ondas que están dentro del rango entre 15 y 400 nm, siendo mayor su eficacia en 260 nm, provoca efectos en el ácido desoxirribonucleico (ADN) de los microorganismos y a dosis adecuadas la muerte. (Xunta de Galicia, 2014)



Figura 1.4 Unidad esterilizadora para agua potable. [Elaboración propia]

Consiste en una fuente de radiación o lámpara ultravioleta, que irradia una fina capa de agua, que, de este modo, queda esterilizada

1.5.9 Especies que necesitan depurarse

Hay una gran variedad de moluscos bivalvos que pueden someterse a la depuración para eliminar microorganismos. Las ostras, mejillones y almejas que son las especies más comunes son sometidos a este tipo de sistema. La tabla 1.3 presenta información de la variedad de moluscos bivalvos que se encuentran en el mercado.

Tabla 1.3 Variedad de moluscos bivalvos para comercialización

Nombre científico	Nombre común
Crassostrea gigas	Ostión japonés
Ostrea edulis	Ostra europea
Mytilus edulis	Mejillón
Cerastoderma edule	Berberchero
Mercenaria	Chirla mercenaria
Tapes decussatus	Almeja fina
Ensis spp.	Navaja

Nota: Las especies que se presentan en la tabla son los ejemplos de especies de moluscos bivalvos para su respectiva depuración, en los capítulos posteriores se podrán observar la especie que se trabajó para sus posteriores cálculos y para la selección de equipos y materiales. La tabla también presenta el nombre científico de cada especie. Adaptado de: Depuración de bivalvos aspectos fundamentales y prácticos, por L. Ronald, A. Lovatelli, L. Ababouch, Documento técnico de pesca, 511, p. 45. Copyright 2010 por FAO.

Las toxinas relacionadas a las infecciones alimentarias por consumo de moluscos están relacionados a la microbiología de las aguas, esto quiere que las características fisiológicas de los moluscos serán afectadas por el grado de calidad del agua de mares, océanos y ríos. Para el control de la depuración, así como para el control microbiológico de las aguas y definir su calidad sanitaria se emplean, habitualmente técnicas microbiológicas. (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013)

1.5.10 Organismos indicadores.

Es un test de rutina para el dictamen de calidad higiénica de las aguas, escogido de forma que pueda proveer información válida sobre probable presencia de gérmenes patógenos(Lee et al., 2010). Según el manual de Junta de Galicia (2014) se suele considerar organismo indicador a una especie predominante, y que sirve para valorar la calidad sanitaria del producto. Estos indicadores se presentan en la tabla 1.4.

Los valores habituales de cada indicador en un laboratorio de Estación depuradora son aprobados por la respectiva norma de calidad y las pruebas realizadas deben estar dentro de los parámetros permitidos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013)

Tabla 1.4 Organismos indicadores en los moluscos bivalvos.

Organismo indicador	Tipo de organismo
Escherichia Coli	Bacteria
Coliforme totales	Bacilo
Coliformes totales	Bacterias gramnegativos
Estreptococos del grupo D de Lancefield	Estreptococo.

Nota: Estos organismos sirven para la evaluación biológica de los moluscos pertinentes mostrados en la Tabla 1.3 a estos organismos se les realiza los respectivos criterios microbiológicos (se detallan en la Orden del 11.4.73 (BOE N°91 del 16.04.73) lo cual establece que se tendrán menos de 300 coliformes fecales o menos de 230 E. coli por cada 100g de carne de molusco y líquido intervalvar en una prueba NMP (NPP) y no habrá Salmonella en 25 g de carne de molusco. (Junta de Galicia, 2014)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Proceso de diseño.

En este capítulo se trató de describir un proceso complejo de diseño en partes más pequeñas y detalladas con la finalidad de relacionar los requerimientos del cliente con los objetivos formulados en el capítulo anterior. Se recurrió a herramientas y métodos particulares que fueron útiles para describir las posibles alternativas de solución y llegar al diseño preliminar esperado. En la Figura 2.1 se puede apreciar las fases para el proceso de diseño del sistema de depuración de moluscos bivalvos.

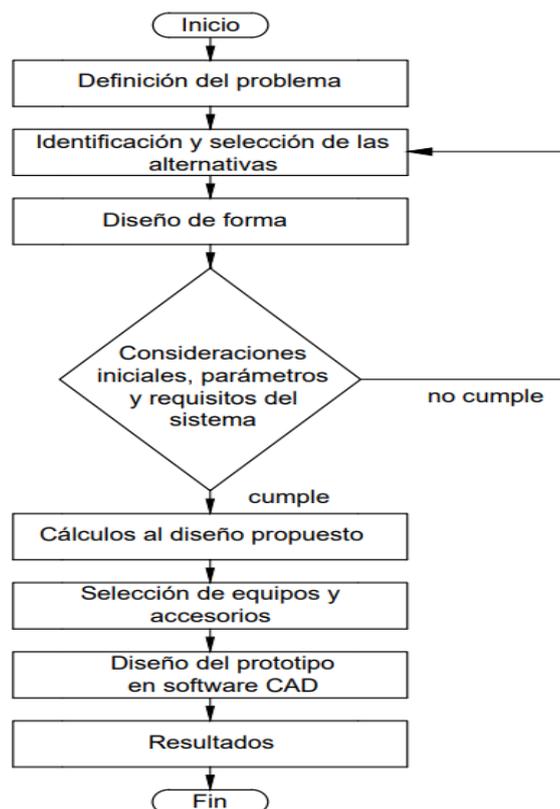


Figura 2.1 Diagrama de fases del proceso de diseño.[Elaboración propia]

2.2 Requerimientos del cliente

2.2.1 Desarrollo de un proceso de diseño.

En el mercado internacional existen entidades que se dedican a la comercialización de sistemas de depuración para moluscos bivalvos,

existen muchas formas para depurar y diferentes sistemas para el mismo fin, hay de diferentes capacidades y métodos de desinfección. El desarrollo de este proyecto se basó en preguntar ¿Qué fin debe tener una depuradora de moluscos?, ¿Por qué se debe depurar? ¿Cuánta capacidad debe depurar el sistema?, ¿Qué significa que la depuradora de moluscos sea segura?, ¿el sistema de depuración será capaz de entregar un producto de calidad dentro de los márgenes de la ley? y ¿quién finalmente, definirá el significado de ser “segura”?

Existen mayores interrogantes en cuanto al planteamiento del diseño de la depuradora para moluscos bivalvos, para las cuales se elaboró una amplia lista detallada que se puede consultar en la sección del Apéndice A. Estas preguntas con sus respectivas respuestas fueron de gran ayuda dentro del proceso de diseño, el cual se basó en el diagrama de la figura 2.1

2.2.2 Árbol de objetivos.

Se planteó un organigrama (Apéndice A – Figura A.1) donde se establecieron los objetivos, dispuestos por el cliente, en las que se basó el proceso de diseño del sistema de depuración, mismos que nos permitieron la selección adecuada de parámetros y tener un enfoque claro de las necesidades del cliente.

2.2.3 Tabla de comparación por pares: Una forma de clasificar por categorías.

Una vez que fueron establecidas las metas para el sistema de depuración, se deseó clasificar el valor o importancia de una con respecto a las otras, y ordenarlas como corresponde. La Tabla 2.1 presenta la matriz cuya función fue comparar cada meta con cada una de las metas restantes individualmente y agregar calificaciones acumulativas y totales cada una de las metas.

Esta tabla presentó el orden de importancia de las metas establecidas. Por lo tanto el orden de importancia estuvo dado de la siguiente manera: más producción por menos trabajo > proporcionar un ambiente saludable a los

moluscos = sobrevivir al ambiente salino = construcción practica > seguro para los operarios. Un análisis sugirió que a los cinco objetivos de alto nivel se les dé valores normalizados de $\frac{3}{10} = 0.30$; $\frac{2}{10} = 0.20$; $\frac{2}{10} = 0.20$; $\frac{2}{10} = 0.20$; $\frac{1}{10} = 0.10$, respectivamente. En el apéndice A se pueden observar las Tablas A.2 –A.5, respecto al desarrollo de las tablas de comparación para las diferentes metas del árbol de objetivos y con ayuda de esto se pudo obtener el árbol de objetivos ponderados.

Tabla 2.1 Tabla de comparación por pares. [Elaboración propia]

Metas	Construcción práctica	Seguro por los operarios	Más producción por menos trabajo	Sobrevivir al ambiente salino	Proporcionar un ambiente saludable a los moluscos	Total
Construcción práctica	.....	1	0	0	1	2
Seguro por los operarios	0	.....	0	0	1	1
Más producción por menos trabajo	1	1	.....	1	0	3
Sobrevivir al ambiente salino	1	1	0	.....	0	2
Proporcionar un ambiente saludable a los moluscos	0	0	1	1	.....	2
Total						10

2.3 Restricciones: identificación de límites.

Se identificaron las restricciones que estuvieron asociados a la depuración de bivalvos con respecto a sus aspectos fundamentales y prácticos. La Organización de las Naciones Unidas (2010), presentó una publicación en la cual aportó con las directrices sobre el diseño y funcionamiento de un centro de depuración. Aunque, esta publicación es bastante clara se prefirió utilizar la normativa española (BOE Legislación consolidada, 1999) lo cual, fue más precisa y aportó con mayores directrices de carácter técnico para la elaboración del sistema de depuración. La Tabla 2.2 y la Tabla A.6 (apéndice A) presentan las características y parámetros que se deben seguir para un sistema de depuración.

Tabla 2.2 Conceptos y normas aplicables en las estaciones depuradoras

Concepto	Norma
Caudal mínimo	1.2 m ³ /hora y Tm de moluscos
Pendiente del fondo de los tanques de depuración	1%
Carga Max./piscina o tanque	30 kg/m ²
Tratamiento vertido	Eliminación de flora patógena
Capacidad máxima	$Cap = \frac{AxB}{2}$, siendo A los m ² del tanque o piscina y B la carga en $\frac{kg}{m^2}$ autorizados
Tiempo mínimo de depuración	42 horas
Libros registro día	Análisis de agua Análisis de moluscos Control de etiquetas y depuración.

En Ecuador también existen normativas para el cultivo de moluscos bivalvos como la norma NTE INEN 2729 (2013) la cual afirma “una adopción modificada a la (versión en español) de la Norma Internacional CODEX STAN 292 Norma para moluscos bivalvos vivos y los moluscos bivalvos crudos. Adoptado en 2008” y para el propósito de esta norma se enlistaron documentos normativos internacionales de referencia como el mencionado anteriormente.

2.4 Instalaciones del laboratorio para el sistema de recirculación.

Las instalaciones de los laboratorios se encuentran situados en la provincia del Guayas, en la ciudad de Guayaquil, dentro de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), cuyas coordenadas son las siguientes: 2°09'04.8"S 79°57'16.5"W estos laboratorios se encuentra junto a los laboratorios PROTAL – ESPOL y pertenecen a la facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, el uso de estos laboratorios son concernientes a la carrera de Ingeniería en Alimentos.

A continuación en la Figura. 2.2 se puede observar vía satélite las coordenadas antes mencionadas.



Figura 2.2 Vista de satélite de las instalaciones

Teniendo esta información se pudo realizar un bosquejo del interior de los laboratorios y los cuales sirvieron de información para los cálculos que posteriormente serán realizados. En la Figura 2.3 se puede observar la distribución del laboratorio y donde estaría ubicado el sistema a estudio dentro del mismo.

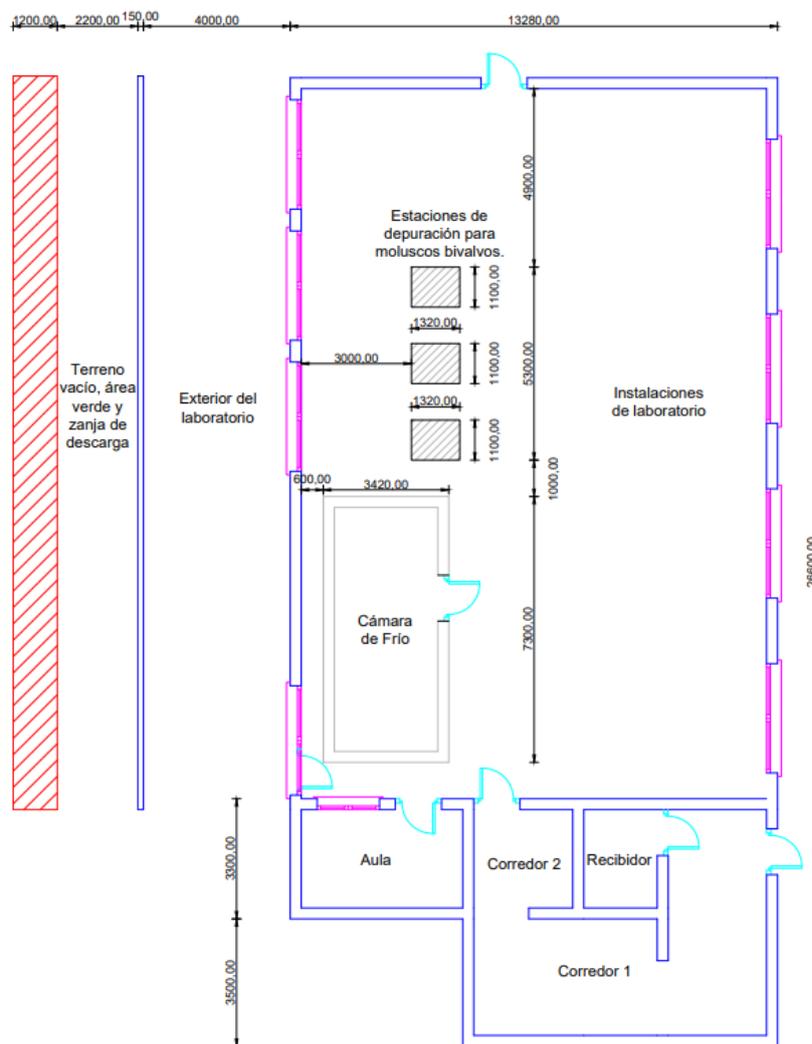


Figura 2.3 Planos de las instalaciones de laboratorio [Elaboración propia]

La información mostrada en la Figura 2.3 es de suma importancia puesto que restringe ciertas cosas para el diseño propuesto, además que aporta información relevante sobre cuanta tubería se debe utilizar para el diseño previsto.

2.5 Análisis funcional

2.5.1 Especificaciones para la depuración de bivalvos.

Una vez que se entendió lo que el cliente y los usuarios desearon para el diseño. En esta etapa se pasó del lenguaje del cliente al del ingeniero. Clive L. y Patrick Little (2002) afirman: “que se consideran primero las funciones y las especificaciones funcionales, éstas dicen lo que el objeto debe hacer para cumplir con los objetivos establecidos”. Por lo tanto, se utilizaron dos técnicas para cumplir estos objetivos los cuales fueron la caja negra y el árbol de funciones y medios, herramientas que fueron tomadas del texto Introducción a la ingeniería y al diseño de Edward Krick, 1979.

2.5.2 Caja negra y transparente para la depuración de bivalvos

Se elaboró una representación gráfica del sistema de depuración que permite la identificación de los datos de entrada y salida, y se especificaron los subproductos indeseables originados por las funciones secundarias imprevistas. En la Figura 2.4 se puede observar la caja negra que representa un sistema para la depuración de moluscos bivalvos.

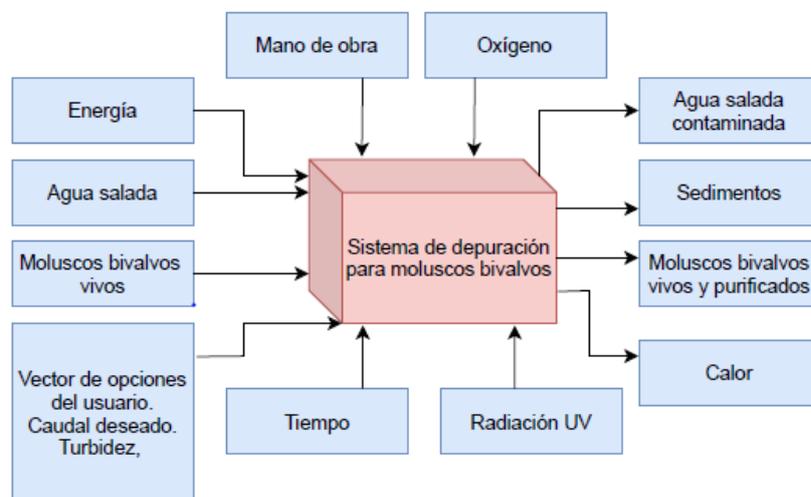


Figura 2.4 Representación gráfica de la caja negra. [Elaboración propia]

Así mismo se diseñó un proceso interno que cumpla con las entradas y salidas de la caja negra, el cual se ve representado por la Figura 2.5, donde se observa que el proceso inicia con la energía eléctrica que entregamos al sistema, esta es transformada a energía mecánica y luego a un flujo de agua salada, este es controlado por el vector de opciones del operador, la masa de agua interactúa con los moluscos y estos generan desperdicios. Los virus y bacterias suspendidos deberán pasar por un proceso de filtración, purificación con radiación UV y oxigenación a través de aspersores, todo esto con el fin de mantener el volumen de agua con bajos niveles de contaminación, que será constantemente monitoreada por los operadores, y seguirá recirculando a través del sistema. Mantener el agua en condiciones relativamente estables permite obtener como resultado final moluscos bivalvos vivos y purificados además de desechos como agua salada contaminada, sedimentos y energía en forma de calor.

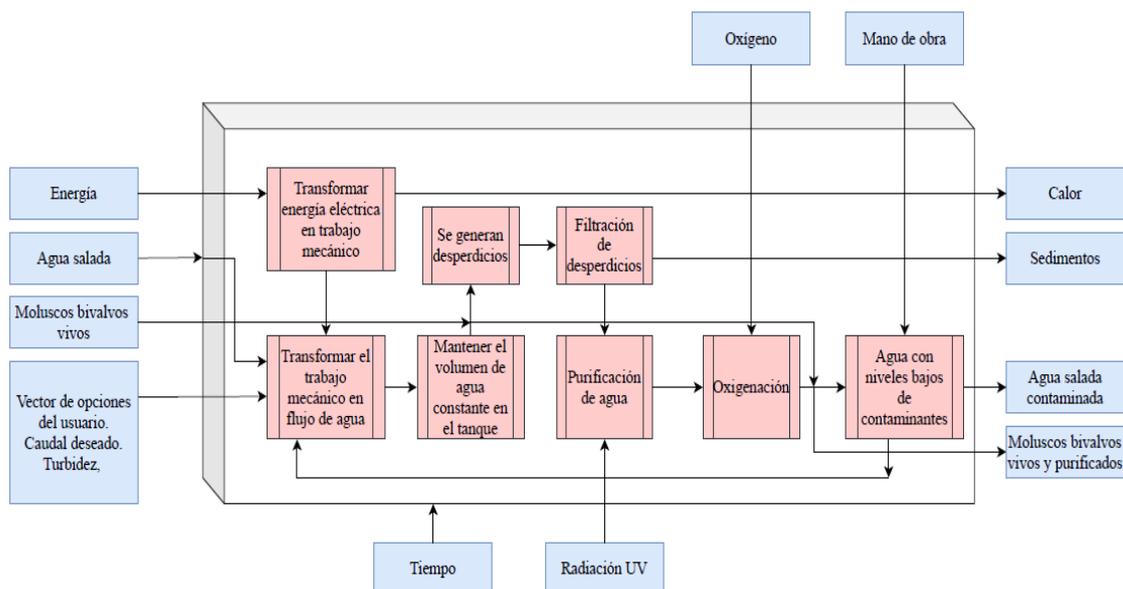


Figura 2.5 Representación gráfica de la caja transparente. [Elaboración propia]

2.5.3 Árbol de funciones y medios para la depuración de bivalvos.

En la Figura A.2 se pueden apreciar las funciones principales y secundarias que debe tener una depuradora de moluscos bivalvos y que fueron identificadas en las cajas antes mencionadas. En él se puede apreciar los medios para llevar a cabo cada función.

2.6 Diseño conceptual

2.6.1 Requerimientos técnicos

2.6.1.1 Sistema de medición y especificaciones de desempeño

En la Tabla A.6 se pueden observar las métricas identificadas para cada objetivo que demanda el usuario. Cabe recalcar que algunas de las pruebas fueron verificadas por el equipo del proyecto para simular y encontrar la respectiva medición de cada objetivo.

2.6.1.2 Especificaciones funcionales

En la Tabla 2.3 se pueden observar las especificaciones relacionadas con cada función principal identificadas en el árbol de funciones y medios.

Tabla 2.3 Especificaciones funcionales del sistema de depuración para moluscos bivalvos.

Función	Especificación
Reanudar la actividad filtradora para expulsar contaminantes	Medición de temperatura [°C], salinidad y oxígeno [mg/L]
Eliminar contaminantes	Medición de la turbidez del agua [UNT] y el tiempo de puesta en marcha [s]
Evitar la recontaminación	Controlar el flujo de agua salada dentro del equipo [L/min]
Mantener la viabilidad y calidad	Calidad de producción [%], medición del oxígeno [mg/L] y medición del flujo de agua [L/min]

2.7 Criterios de selección

2.7.1 Casa de la calidad (House of Quality)

La casa de la calidad es una herramienta que definió que criterios de selección se debieron utilizar en base a toda la información recopilada anteriormente y traduce los requerimientos del usuario al lenguaje ingenieril, es decir los requerimientos técnicos.

En la Tabla A.7 se pueden apreciar los requerimientos del usuario que comprendieron los objetivos, las restricciones y las funciones principales y

en la Tabla A.8 se pueden apreciar los requerimientos técnicos para el sistema de depuración los cuales comprendieron los objetivos con su respectivo sistema de medición y las especificaciones funcionales.

En la Figura A.3 se pudo observar la casa de la calidad terminada el análisis que recomendó escoger los criterios técnicos de más alto nivel lo cual fueron utilizados para las alternativas que más adelante fueron planteadas. Esto lo sugirió el texto Engineering Design del autor Dieter & Schmidt, 2012. Los siguientes criterios fueron:

- Calidad de la producción de moluscos depurados
- Eliminación de los contaminantes
- Evita la resuspensión del material sedimentado
- Flujo de agua apropiado
- Facilidad de operación
- Costo de producción del equipo
- Reanudar la actividad filtradora
- Uso de partes y estándares.

2.8 Selección de las mejores alternativas:

2.8.1 Conexión de las alternativas con los objetivos ponderados y sistemas de medición

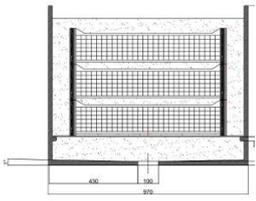
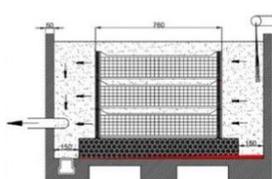
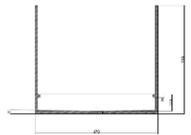
Se realizó una tabla morfológica para identificar el número de combinaciones de diseño y los que posiblemente se generaron de diseños anteriores. Según Adrián & Ruiz (2020) confirman que “la desinfección ultravioleta no afecta a los moluscos o su calidad de vida y la opción más viable para la eliminación de contaminantes” por lo tanto en cada tabla morfológica de soluciones viables se reflejará la desinfección por ultravioleta.

La Tabla 2.4 y la Tabla 2.5 indicaron las primeras combinaciones posibles entre los medios funcionales que generaron la primera alternativa de diseño.

Tabla 2.4 Tabla morfológica para la selección de alternativas de diseño con respecto a la instrumentación que se desea emplear. [Elaboración propia]

Medios Función	1	2	3
Mantener la viabilidad y la calidad	Manejando y almacenando apropiadamente los moluscos antes y después de la depuración		
Evitar la descontaminación	Utilización de filtros de bolsa o cartucho		
Eliminar contaminantes	Esterilización por ultravioleta		
Reanudar actividad filtradora para expulsar contaminantes (sistema de medición)	Instrumentos eléctricos	Instrumentos electrónicos (sensores programables)	Instrumentos mecánicos
Medición del nivel de agua para carga y descarga de la bomba	Sensor de nivel electrónico para encendido y apagado de la bomba	Flotador eléctrico para apagado y encendido de la bomba	

Tabla 2.5 Tabla morfológica para la selección de alternativas de diseño con respecto al manejo de los [Elaboración propia]

Medios Función	1	2	3
Material del tanque de depuración	Acero Inoxidable 304L	Plástico reforzado con fibra de vidrio	Polietileno de alta densidad (HDPE)
Disposición básica del Tanque	Tanque con inclinación de 1° con respecto al centro del tanque 	Tanque con disposición de 1° con respecto a la tubería de succión. 	Adquisición de un tanque comercial. Con desfogue a 1° 
Evitar la resuspensión del material del material sedimentado	Emparrillamiento que este sobre el nivel del suelo y soporten el peso de las gavetas.	Utilizar listones que estén en dirección del flujo que estén sobre el nivel del suelo y soporten el peso de las gavetas	
Material del emparrillado	Acero Inoxidable	Plástico reforzado con fibra de vidrio	Polietileno de alta densidad (HDPE)

2.8.2 Primera alternativa: Sistema de recirculación con instrumentación y medición mecánica.

En la Tabla 2.6 se puede apreciar la primera combinación entre los medios funcionales de la Tabla 2.4 y generar la primera alternativa de diseño. El color amarillo seleccionado en las alternativas de la tabla es la combinación presentada para esta solución.

Tabla 2.6 Tabla morfológica con primera alternativa de solución para el sistema de depuración. [Elaboración propia]

Función \ Medios	1	2	3
Mantener la viabilidad y la calidad	Manejando y almacenando apropiadamente los moluscos antes y después de la depuración		
Evitar la recontaminación	Utilización de filtros de bolsa o cartucho		
Eliminar contaminantes	Esterilización por ultravioleta		
Reanudar actividad filtradora para expulsar contaminantes (sistema de medición)	Instrumentos eléctricos	Instrumentos electrónicos (sensores programables)	Instrumentos mecánicos
Medición del nivel de agua para carga y descarga de la bomba	Sensor de nivel electrónico para encendido y apagado de la bomba	Flotador eléctrico para apagado y encendido de la bomba	

2.8.3 Segunda alternativa: Sistema de recirculación con instrumentación y medición Electrónica.

En la Tabla 2.7 se puede apreciar la segunda combinación entre los medios funcionales de la Tabla 2.4 y generar la segunda alternativa de diseño. El color amarillo seleccionado en las alternativas de la tabla es la combinación presentada para esta solución.

Por lo tanto, para encontrar la mejor solución se procedió a utilizar los criterios de selección que nos arrojó la casa de la calidad y utilizando la tabla de comparación por pares se obtuvo la alternativa ganadora en esta fase del diseño.

Tabla 2.7 Tabla morfológica para la segunda alternativa de solución para el sistema de depuración. [Elaboración propia]

Función \ Medios	1	2	3
Mantener la viabilidad y la calidad	Manejando y almacenando apropiadamente los moluscos antes y después de la depuración		
Evitar la recontaminación	Utilización de filtros de bolsa o cartucho		
Eliminar contaminantes	Esterilización por ultravioleta		
Reanudar actividad filtradora para expulsar contaminantes (sistema de medición)	Instrumentos eléctricos	Instrumentos electrónicos (sensores programables)	Instrumentos mecánicos
Medición del nivel de agua para carga y descarga de la bomba	Sensor de nivel electrónico para encendido y apagado de la bomba	Flotador eléctrico para apagado y encendido de la bomba	

2.8.4 Selección de la mejor alternativa (1-2)

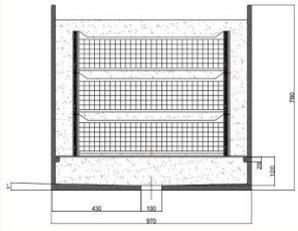
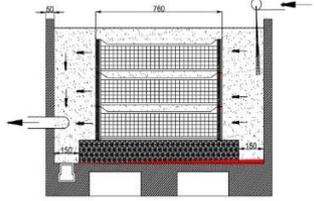
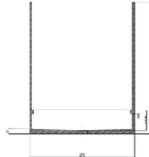
Con las alternativas bien claras se procedió a utilizar la herramienta de comparación por pares para cada alternativa y luego utilizar los valores normalizados de los criterios técnicos que arrojó la casa de la calidad. En la Tabla A.9 se pueden encontrar los valores normalizados para los cálculos. En las Tablas A.10 – A.17 se pueden observar la evaluación de cada alternativo con el respectivo criterio técnico de la casa de la calidad.

2.8.5 Tercera alternativa: Tanque fabricado a la medida en fibra de vidrio con disposición cónica.

En la Tabla 2.8 se puede apreciar la tercera combinación entre los medios funcionales de la Tabla 2.5 y generar la tercera alternativa de diseño. El

color amarillo seleccionado en las alternativas de la tabla es la combinación presentada para esta solución.

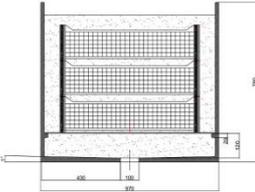
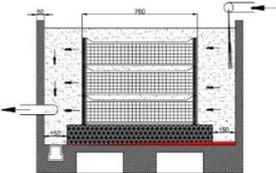
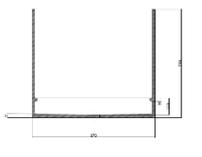
Tabla 2.8 Tabla morfológica con tercera alternativa de solución para el sistema de depuración. [Elaboración propia]

Medios	1	2	3
Función			
Material del tanque de depuración	Acero Inoxidable 304L	Plástico reforzado con fibra de vidrio	Polietileno de alta densidad (HDPE)
Disposición básica del Tanque	Tanque con inclinación de 1° con respecto al centro del tanque 	Tanque con disposición de 1° con respecto a la tubería de succión. 	Adquisición de un tanque comercial. Con desfogue a 1° 
Evitar la resuspensión del material del material sedimentado	Emparrillamiento que este sobre el nivel del suelo y soporten el peso de las gavetas.	Utilizar listones que estén en dirección del flujo que estén sobre el nivel del suelo y soporten el peso de las gavetas	
Material del emparrillado	Acero Inoxidable	Plástico reforzado con fibra de vidrio	Polietileno de alta densidad (HDPE)

2.8.6 Cuarta alternativa: Adquisición de tanque comercial con inclinación lateral y utilización de emparrillamiento para evitar la resuspensión de material sedimentado.

En la Tabla 2.9 se puede apreciar la cuarta combinación entre los medios funcionales de la Tabla 2.5 y generar la cuarta y última alternativa de diseño. El color amarillo seleccionado en las alternativas de la tabla es la combinación presentada para esta solución.

Tabla 2.9 Tabla morfológica para la cuarta alternativa de solución. [Elaboración propia]

Medios Función	1	2	3
Material del tanque de depuración	Acero Inoxidable 304L	Plástico reforzado con fibra de vidrio	Polietileno de alta densidad (HDPE)
Disposición básica del Tanque	Tanque con inclinación de 1° con respecto al centro del tanque 	Tanque con disposición de 1° con respecto a la tubería de succión. 	Adquisición de un tanque comercial. Con desfogue a 1° 
Evitar la re suspensión del material del material sedimentado	Emparrillamiento que este sobre el nivel del suelo y soporten el peso de las gavetas.	Utilizar listones que estén en dirección del flujo que estén sobre el nivel del suelo y soporten el peso de las gavetas	
Material del emparrillado	Acero Inoxidable	Plástico reforzado con fibra de vidrio	Polietileno de alta densidad (HDPE)

2.8.7 Selección de la mejor alternativa (3-4)

Con las alternativas bien claras se procedió a utilizar la herramienta de comparación por pares para cada alternativa y luego utilizar los valores normalizados de los criterios técnicos que arrojó la casa de la calidad. En la Tabla A.9 se pueden encontrar los valores normalizados para los cálculos. En las Tablas A.18 – A.25 se pueden observar la evaluación de cada alternativo con el respectivo criterio técnico de la casa de la calidad. Se seleccionó la alternativa que mejor se ajustó a los criterios técnicos de selección. En la Tabla 2.10 se puede observar que la alternativa 1 es la ganadora y en la Tabla 2.11 la alternativa 4 es la mejor opción.

Tabla 2.10 Tabla de conclusiones para la primera etapa de alternativas. [Elaboración propia]

Conclusión	Costo de producción del equipo	Eliminación de contaminantes	Flujo de agua apropiado	Evitar la resuspensión del material sedimentado	Facilidad de operación	Calidad de producción	Reanudar la actividad filtradora	Uso de partes y estándares	Prioridad
Alternativa 1	0.08	0.09	0.08	0.07	0.05	0.07	0.04	0.02	0.50
Alternativa 2	0.10	0.09	0.08	0.07	0.04	0.07	0.04	0.03	0.52

Por lo tanto, la alternativa dos cuya instrumentación es la electrónica es la ganadora.

Tabla 2.11 Tabla de conclusiones para la segunda etapa de alternativa. [Elaboración propia]

Conclusión	Costo de producción del equipo	Eliminación de contaminantes	Flujo de agua apropiado	Evitar la resuspensión del material sedimentado	Facilidad de operación	Calidad de producción	Reanudar la actividad filtradora	Uso de partes y estándares	Prioridad
Alternativa 3	0.06	0.10	0.08	0.07	0.07	0.05	0.03	0.02	0.48
Alternativa 4	0.12	0.08	0.08	0.07	0.07	0.04	0.03	0.05	0.54

Por lo tanto, la alternativa 4 es la ganadora y la mejor opción para la depuración de moluscos bivalvos.

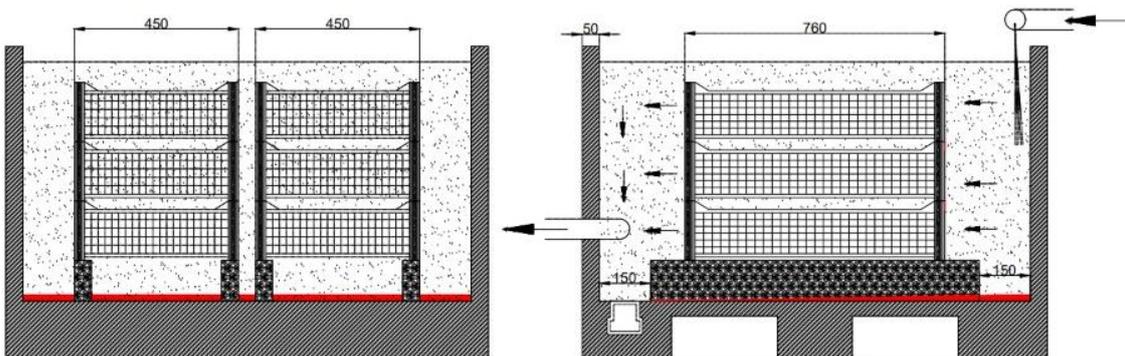


Figura 2.6 Vista frontal y lateral de un tanque comercial. [Elaboración propia]

2.9 Diseño preliminar

Una vez que se realizó la evaluación de las alternativas se concluyó que la alternativa ganadora cumple con los requerimientos del cliente y que está sujeta a las normativas correspondientes. En la Figura 2.7 se muestra un diseño de forma del sistema de depuración.

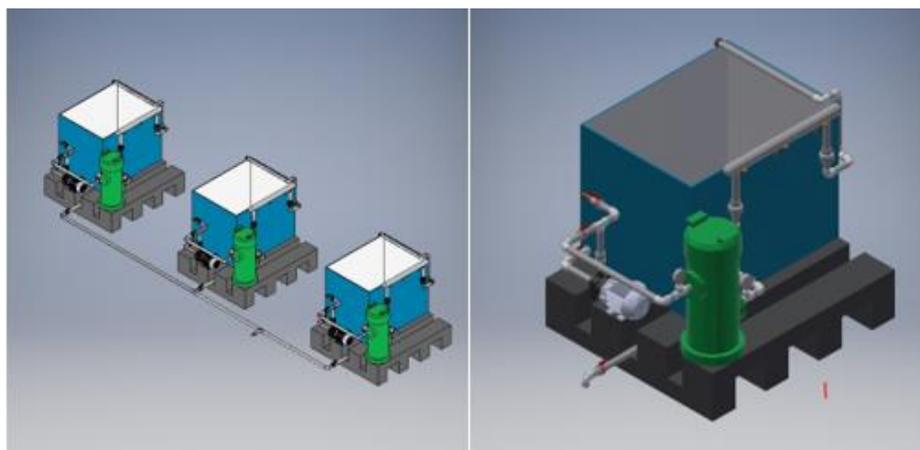


Figura 2.7 Diseño de forma del sistema de depuración. [Elaboración propia]

2.10 Condiciones de entrada de los moluscos

Los moluscos bivalvos, por ser animales que se alimentan, por filtración, de fitoplancton y partículas de materia orgánica en suspensión, estos pueden estar expuestos a aguas residuales con un volumen importantísimo de microorganismos como lo son los gérmenes y bacterias. En la tabla A.26 se pueden observar las zonas de producción de moluscos y el indicador pertinente aceptado por normativa para realizar la respectiva depuración. Por lo tanto, el molusco a tratar debe tener una clasificación tipo B, para su respectiva depuración.

2.11 Especificación de los componentes del sistema de depuración.

2.11.1 Tanque de depuración.

El tanque de depuración es el encargado de almacenar las especies de moluscos que serán purificados en un intervalo de tiempo (42 horas), este tanque debe ser de un material durable y que soporte la salinidad del sistema. Además que debe contener 90 kg de moluscos (mejillones) y manejar 500lts de agua. El material óptimo para este tipo de sistema es PVC, lo cual es resistente a la corrosión y la salinidad.

2.11.2 Gavetas para moluscos.

Las bandejas utilizadas para apilar dentro del tanque de depuración deben tener lados de malla adecuados para permitir el flujo de agua y un fondo de malla abierto para permitir que las heces, limo y arena puedan quedar

asentados sobre la parte baja de la superficie del tanque de depuración como se puede apreciar en la figura 2.7. Los tipos de bandejas originales que sugiere el organismo público que apoya a la industria pesquera en el Reino Unido Seafish son los que se presentan en la tabla 2.9.

Tabla 2.12 Gavetas para purificación de moluscos

Descripción	Dimensiones [mm]	Número por tanque	Peso [kg]
Allibert 41042	760x450x165	6	1.84
GPG C1479	762x457x140	6	1.84

Nota: Tomada de: Operating Manual for the small scale shallow tank Purification system, 2018, Seafish Copyright ISBN No: 978-1-911073-27-7

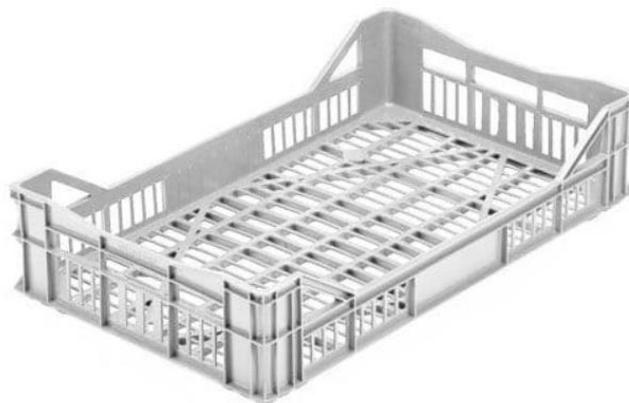


Figura 2.8 Gavetas de moluscos del tipo GPG C1479

2.11.3 Filtro de sedimentación.

El filtro de sedimentación es una barrera para los sedimentos que se originen en el tiempo de la depuración, por lo tanto, su función es tratar de retener las partículas que viajen a través de las tuberías de la recirculación. Estos fueron ubicados después de la bomba y antes del esterilizador ultravioleta como se muestra en la figura 2.9.

2.11.4 Esterilizador ultravioleta.

La radiación ultravioleta que incluye longitudes de onda entre 15 y 400 nm (aunque su mayor eficacia esterilizadora, se encuentra alrededor de los 260 nm), provoca efectos en el ácido desoxirribonucleico (ADN), de los

microorganismos y a dosis adecuadas, la muerte. Por ende, la utilización de este equipo en este tipo de sistema.

2.11.5 Diseño del sistema de circulación y tuberías.

El sistema de purificación constará de tres estaciones independientes cada una con su respectivo tanque, gavetas, bomba hidráulica, filtro de sedimentación y esterilizador ultravioleta, accesorio de tuberías y válvulas de paso y el respectivo aspensor. Cada estación debe recircular agua, controlando los parámetros físicos que pide la respectiva normativa. Los materiales deben soportar la salinidad del sistema por esta razón se optó por tuberías de PVC para red de agua potable.

En la figura 2.9 y la figura 2.10 se puede apreciar la distribución de los equipos y las tuberías en base al establecimiento en donde se instaló el sistema y en la figura 2.11 se puede ver el dibujo en 3D realizado en el software Inventor (2018) versión estudiante y los esquemas que se presentan a lo largo de este documento, en AutoCAD 2018 licencia estudiante. Cabe recalcar que este diseño es tentativo y que el siguiente capítulo se detallará más a fondo los requerimientos técnicos pertinentes.

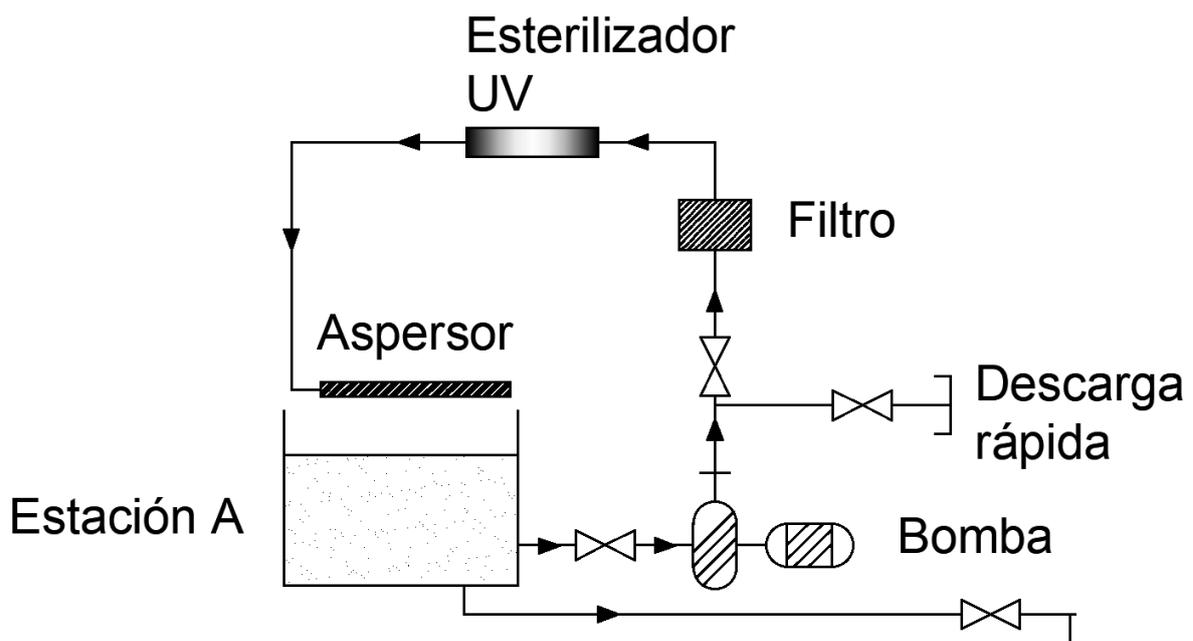


Figura 2.9 Distribución de los equipos. [Elaboración propia]

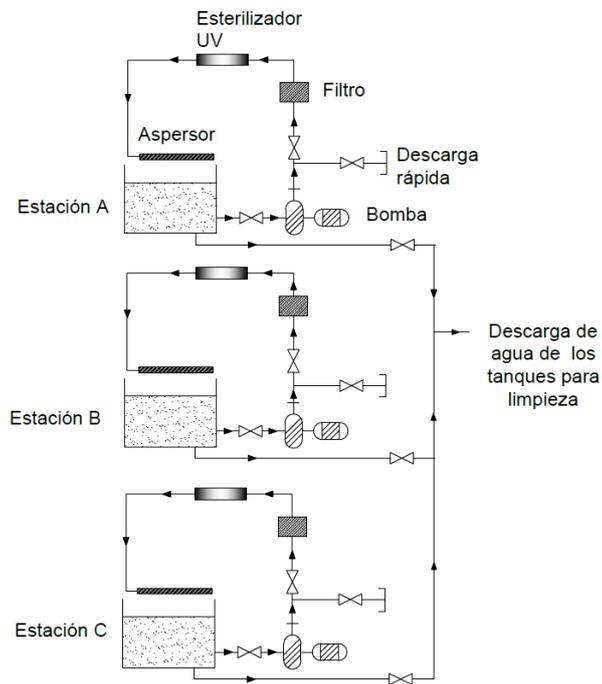


Figura 2.10 Red de tuberías de recirculación y descarga de sedimentos luego de un examen microbiológico.

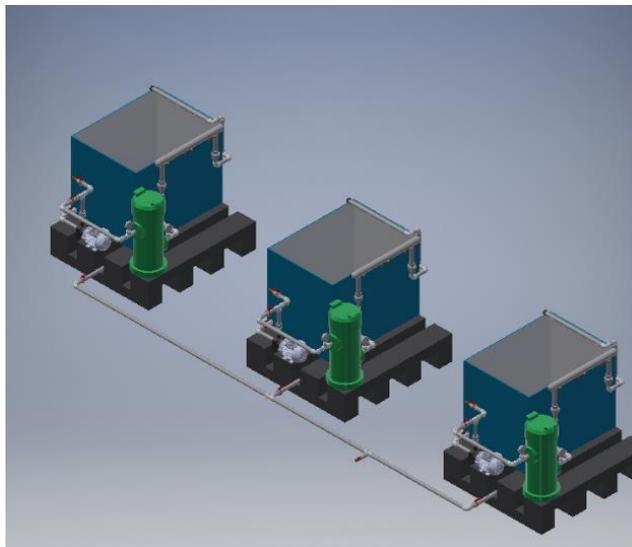


Figura 2.11 Red de tuberías de recirculación y descarga. Vista en 3D. [Elaboración propia]

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Dimensionamiento de tanques

El tanque debió ser de un material que soporte la salinidad del sistema y que pueda contener las gavetas apropiadas para la depuración. El material el cual se eligió fue polietileno de rotomoldeo, sin espumantes. En el apéndice C en la tabla C.1 se pueden apreciar las cargas máximas estipuladas en el Reino Unido para sistemas de diseño estándar y para el volumen elegido (600L) se pudo observar que la carga máxima que puede soportar el sistema es de 90 kg para la especie de molusco mejillón. Por lo tanto con este dato se pudo estipular la selección de las dimensiones de las gavetas.

3.2 Dimensionamiento de las gavetas

En el capítulo 2 se mencionó dos tipos de gavetas las cuales son las apropiadas para la depuración y sus dimensiones por lo tanto estas deberán alojar a los moluscos a depurar.

Según la empresa SEAFISH en sus diseños de purificación en tanques de pequeña escala (2018) de acuerdo a la especie a depurar sugiere utilizar la gaveta tipo Allibert 41042 o la GPC C 1479, pero se puede utilizar cualquier tipo de gaveta que cumpla con los requerimientos expuestos en el capítulo 2. En la Tabla 3.1 se puede apreciar la carga máxima por gaveta de cada especie a depurar lo cual también lo estipula la normativa correspondiente.

Tabla 3.1 Cargas de las gavetas en función de las especies a depurar.

Especies	Allibert 41042/GPC C1479 o similares	
	Profundidad	Carga admisible
Mejillones	80 mm	15 kg
Ostras del Pacífico	Doble capa	125 ostras
Ostras nativas	Sola capa sobrepuesta	125 ostras
Conchas	80 mm	21 kg
Berbercheros	80 mm	15 kg

Nota. Esta tabla muestra las cargas permitidas para cada una de las diferentes especies de moluscos para su respectiva depuración y el espaciado entre gavetas. Tomada de: Seafish Standard Design Purification Systems, por Seafish, 2018, Seafish report (SR) No.: 721, Seafish All rights reserved. ISBN: 978-1-911073-27-7.

La profundidad que hace referencia la tabla 3.1 se refiere al espacio que se deja entre gavetas por cada especie contenida en la misma y que aporta a que el fluido en movimiento arrastre los desechos de los moluscos. En el mercado se puede hallar una gran variedad de gavetas y usos por lo tanto se eligió la que cumpla con las exigencias antes descritas. Se escogió gavetas caladas cuyas dimensiones se pueden apreciar en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Dimensiones de la gaveta para sistema de depuración. [Elaboración propia]

Características	Unidades
Capacidad de volumen	22 L
Capacidad de carga	20 kg
Dimensiones	
Largo	58 cm
Ancho	41 cm
Altura	13.5 cm
Capacidad de apilamiento	200 kg 10 gavetas de 20 kg
Material	Polietileno de alta densidad

Cabe recalcar que las gavetas se pueden apilar máximo a 3 filas en dos columnas lo cual da como resultado 6 gavetas de 15 kg eso si el caso a depurar fuera el mejillón. Por lo tanto, esta selección sería la idónea porque cumple con los requerimientos para la depuración.

3.3 Capacidad del sistema de depuración.

La legislación española impone que es necesario mantener a los moluscos en depuración un mínimo de 42 horas (Junta de Galicia, 2014) y en el apéndice C se pueden observar el procedimiento que se llevó a cabo para hallar los resultados de la Tabla 3.3 que resume y afirman la selección de las gavetas.

Tabla 3.3 Resultados con respecto a la normativa correspondiente.

Área permitida para la depuración	No mayor a 6m²
Número de individuos por largo de gaveta	8
Número de individuos por ancho de gaveta	6
Número de individuos por área a en una sola capa	48
Número de individuos por área de gaveta a ocho capas	384
Número de mejillones del sistema	2304
Masa promedio de cada mejillón	0.038 [kg]
Masa promedio en cada gaveta	14.592 [kg]
Masa total de mejillones del sistema	87,55 [kg]

Nota: La tabla descrita muestra valores referenciales del peso de los mejillones valor que se obtuvo del promedio que comercialmente, hay en un kilo de mejillones lo cual dio un valor de 25-27 piezas por kilogramo. (Mercasa, 2021)

Por lo tanto, las gavetas seleccionadas son aptas para cargar con el peso deseado teórico. Entonces en base a esto y la disposición de las gavetas se pudo tener una estimación de las dimensiones del tanque para la respectiva depuración. En el apéndice C se muestra el procedimiento para la hallar las dimensiones del tanque. En la Figura 3.1 se puede observar las disposiciones de las gavetas y las cotas correspondientes a cada una de las orientaciones de las gavetas.

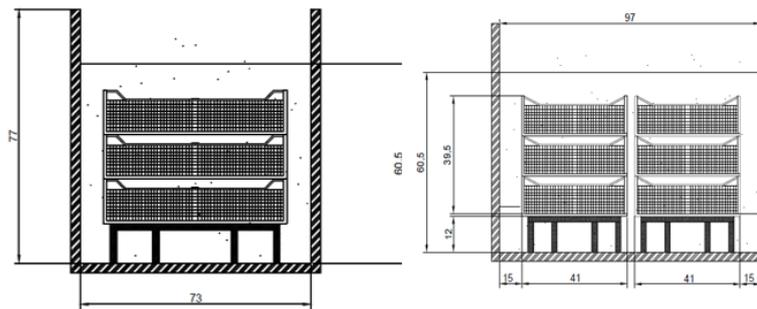


Figura 3.1 Dimensiones estimadas para la selección del tanque para depuración.

3.4 Selección de la bomba de recirculación.

Para la selección de la bomba se partió del diseño de forma establecido en el capítulo 2 y los cálculos pertinentes se encuentran en el apéndice C, para los criterios pertinentes se asumieron ciertos detalles para hallar los diámetros de succión y de impulsión de la bomba, las pérdidas respectivas en las líneas de la conducción y el diámetro ideal para las líneas de desagüe.

En la Tabla 3.4 se puede observar los resultados obtenidos.

Tabla 3.4 Valores determinados para el diseño del sistema de depuración [Elaboración propia]

$V_{succión}$	$0.4 \frac{m}{s}$
$V_{impulsión}$	$1 \frac{m}{s}$
$Q_{requerido}$	$3.33 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$
$Q_{ajustado}$	$8.04 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$
$h_{L, Total}$	4.21 m
$H_{necesario}$	4.42 m
$W_{potencia, \acute{u}til}$	60 W
$D_{desague}$	31 mm
$NPSH$	366.73 mm

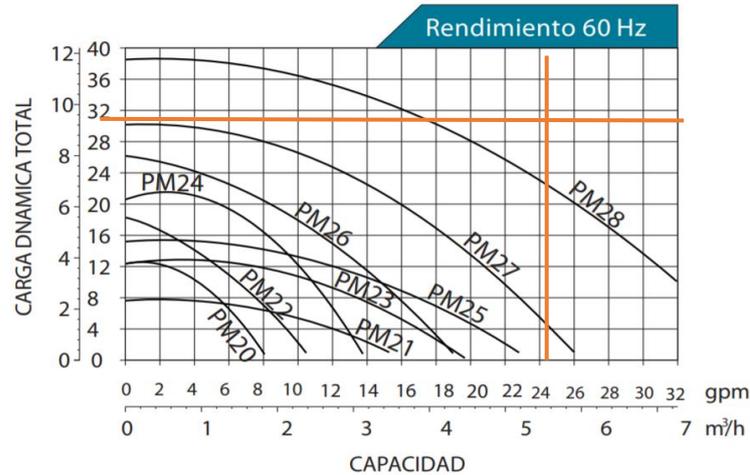


Figura 3.2 Curva de operaciones para la selección de bombas

La curva que se presentó en la Figura 3.1 en el eje de las Y marcó los metros y pies de altura de columna de agua. De la figura mostrada se puede apreciar que el modelo PM27 se adaptó bien a las necesidades que demandó el sistema, cabe recalcar que el sistema estuvo un poco sobredimensionado y el caudal que se estimó para usar fue de $20 \text{ l}/\text{min}$ por lo tanto esta bomba es la ideal para las necesidades del sistema. En los apéndices D se puede apreciar los datos técnicos de la bomba seleccionada.

3.5 Selección del filtro para sedimentos.

El filtro para sedimentos debió retener las partículas de desechos provocados por los moluscos, mediante la acción filtradora de las bolsas. La selección del filtro se lo analizó tomando en cuenta ciertas condiciones operacionales del sistema.

- Filtro debió retener partículas de diferentes tamaños a escala de micras μ .
- El filtro debió trabajar al caudal de operación de la planta [$20 \text{ l}/\text{min}$]. o mayores
- Las horas de trabajo que tuvo que filtrar toda la carga de agua fue de 36 horas y en otros casos 42 horas.

Tuvo que manejar constantemente durante las horas de trabajo grandes volúmenes de agua. En el apéndice C se encuentran los cálculos para estos volúmenes cuyo dato es importante para la selección del filtro de sedimentación. Debió soportar la salinidad del sistema.

Por lo tanto, el filtro de la marca Pentair modelo ZH-PBF5 con bolsa de precisión se ajustó a las necesidades del sistema. La ficha técnica y el modelo escogido se pueden apreciar en la siguiente figura. Como el sistema de depuración tenía comprado ciertos equipos, se trabajó con el filtro que adquirieron y en las pruebas pertinentes logró trabajar sin ningún problema. En la figura 3.3 se puede apreciar el filtro indicado.



Figura 3.3 Filtro de sedimentación y su respectiva ubicación en el Sistema [Elaboración propia]

3.6 Selección del esterilizador ultravioleta.

Como se mencionó en los capítulos anteriores la finalidad de la luz ultravioleta fue exterminar en lo posible a las bacterias y microorganismos que los moluscos fueron expulsando mientras se realizó la respectiva depuración, por lo tanto los criterios para seleccionar el esterilizador se basaron en exterminar en lo posible a los agentes que se encuentran en la Tabla C.9 la cual describe las causas microbianas de enfermedades asociadas a los moluscos bivalvos, otro criterio de selección es el utilizado para los filtros, es decir con el caudal de operación y la capacidad para trabajar durante las horas de trabajo.

Para el caso del proyecto se utilizó un filtro ultravioleta de procedencia china Tubo de PVC que fue comprado para las necesidades antes mencionadas. En la siguiente figura se puede observar la forma del ultravioleta y la instalación del mismo. En la Figura 3.4 se puede observar la ubicación del filtro UV en el sistema.



Figura 3.4 Filtro de lámpara UV y ubicación de en el Sistema. [Elaboración propia]

3.7 Selección de los agujeros del tubo de aspersión.

Para elegir el número de orificios que debió tener el aspersor se realizó la gráfica de la Figura 3.5, y esta mostró la tendencia de la velocidad con respecto a los diámetros comerciales de cada broca dando así mayores velocidades para brocas más pequeñas y dando velocidades bajas para brocas de 10mm de diámetro.

Para el proyecto se escogió una broca de 5 mm de diámetro a 24 orificios lo cual arrojó excelentes resultados con respecto al oxígeno disuelto que requirió el sistema. Cabe recalcar que por motivos de tiempo no se pudo experimentar con los demás grupos de orificios para certificar cual hubiera sido el aspersor ideal, pero con el utilizado estuvo aceptable. En la Tabla 3.5 se observa el oxígeno disuelto de cada estación de depuración.

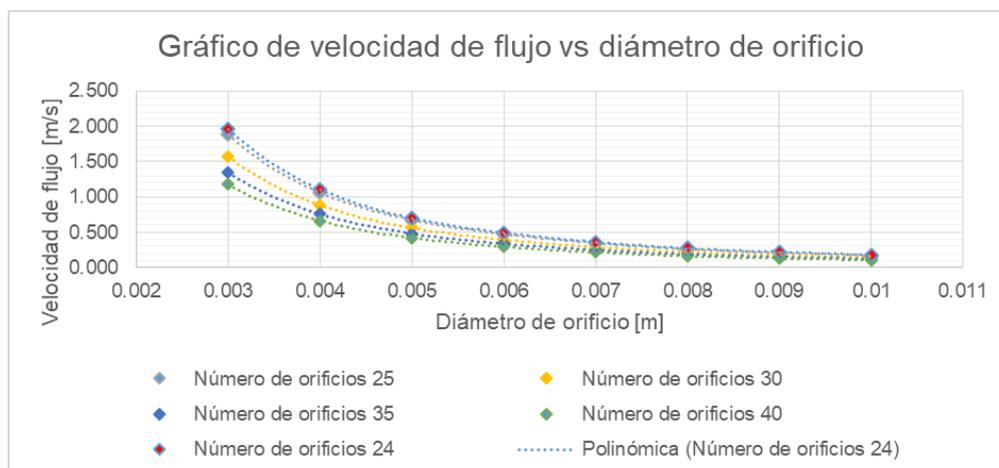


Figura 3.5 Gráfica de velocidad de flujo a la salida del aspersor vs diámetro de los orificios. [Elaboración propia]

Tabla 3.5 Oxígeno Disuelto [OD] para las estaciones de depuración.

Estación de depuración	Oxígeno disuelto [mg/L]
Estación 1	7.0
Estación 2	7.6
Estación 3	6.8

Nota: El oxígeno disuelto que se midió en el laboratorio están dentro de los márgenes permitidos por la normativa, para encontrar el aspersor ideal se debería seguir experimentando y revisando la literatura de los exámenes microbiológicos de los moluscos.

3.8 Diseño de soporte para gavetas

El soporte o mallado para gavetas es esencial para el proceso de depuración de los moluscos, este evitó que las especies estén en contacto directo con la sedimentación en la base del tanque, se elevó las gavetas a 120 mm por encima de la superficie de este. Dicho soporte debió soportar la carga de seis gavetas apiladas en dos columnas de tres filas, estas gavetas están diseñadas para contener en su interior 15 Kg de moluscos. Con este precedente se diseñó una armadura que sirva de soporte con materiales a disposición en el laboratorio. En la Figura 3.6 se puede observar la estructura detallada.

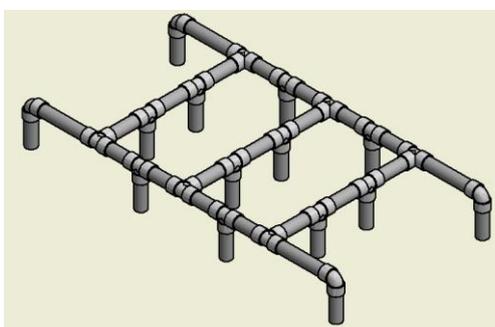


Figura 3.6 Estructura para el emparrillamiento para cargas

Tabla 3.6 Resumen de los esfuerzos cortantes máximos.

Elemento	Momento (M) [Nmm]	Fuerza cortante(V) [N]	Esfuerzo de fluencia [N/m ²]	Esfuerzo cortante [N/m ²]	Esfuerzo cortante máximo [N/m ²]
1	506.86	13.86	458178.53	362161.01	428535.28
2	438.58	15.71	396456.49	410501.41	455857.26

En la tabla 3.6 se puede observar los esfuerzos cortantes máximos con un valor de 455.86 kPa como esfuerzo cortante máximo y sabiendo que el PVC tiene un esfuerzo de fluencia máximo de 8894.24 kPa a una temperatura

ambiente podemos fácilmente deducir que la armadura resistirá la carga de las gavetas con un factor de seguridad de 9.75.

3.9 Diseño de soporte para filtro UV

Para fijar el filtro UV al sistema se instaló 3 pies de amigo separados equidistantemente el uno del otro, estos soportes actuaron como vigas empotradas a un extremo y en voladizo al otro, con una carga puntual en el punto de contacto que será la tangente entre la circunferencia externa del filtro y la superficie del pie de amigo.

Como datos iniciales tenemos la masa del filtro que fue de 3.85 Kg, la densidad del agua salada antes mencionada fue de 1022 Kg/m³ y el diámetro de tubería del filtro que fue de 50mm. En los apéndices C la sección C.10 se pueden observar los cálculos pertinentes.

Observamos que tanto el momento máximo como la fuerza cortante máxima ocurren en el empotramiento de la viga por lo que se procedió a analizar los esfuerzos en este punto, teniendo en cuenta que trabajamos con una viga de perfil circular de 0.006m de diámetro de acero dulce AISI1020 que tiene un esfuerzo a la fluencia de 205 MPa. Con un factor de seguridad de 5.24 podemos determinar que tanto el perfil de la viga, como el material seleccionado resistirán las cargas propias del peso del filtro UV.

3.10 Selección de base de sistema

Al tratarse de un sistema de laboratorio que puede ser ensamblado fácilmente en cualquier lugar, la base debió brindar la altura suficiente al sistema para poder colocar la tubería de desagüe que debió estar ubicada por debajo del tanque, lo que se buscó fue una base sólida capaz de soportar la carga de todo el sistema más la masa de agua que estará circulando a través de este.

El peso de los equipos está dado por los fabricantes, para determinar el peso de las tuberías de 32mm, con un espesor de 1.6mm, consideraremos el peso específico del material que es de 1.42g/cm³ y la longitud total de tubería que es de 558mm. En el apéndice C en la sección C. 11 se detallan los cálculos

pertinentes. En la Tabla 3.7 muestra las cargas generadas por cada uno de los componentes del sistema y el fluido que recorre a través de este, además de los pesos correspondientes a cada línea.

Tabla 3.7 Componentes del sistema de depuración con sus respectivos valores de masa y peso. [Elaboración propia]

Componente	Masa [kg]	Peso [N]
Tanque	31.10	305.09
Filtro	8.00	78.48
Esterilizador UV	3.85	37.77
Bomba centrífuga	12.80	125.57
Tuberías	0.12	1.19
Fluido	490.56	4812.39
Total	546.43	5360.49

De esta tabla se puede decir lo siguiente:

- No se consideró la masa de los accesorios, debido a que los catálogos de fabricante no brindan dicha información.
- Habrán ocasiones en las que un operador deberá subir sobre la base para retirar equipos a la hora de dar mantenimiento, tomando en cuenta que el peso promedio de una persona es de 70 kg, se ha considerado prudente multiplicar el valor de la carga por un factor de seguridad de 2, quedando así una masa total de 1092.86 Kg.

Con dicha información se ha seleccionado un pallet Plus TC Eco, el cual se puede observar en la sección de Apéndice D., el cual tiene una capacidad máxima de carga estacionaria y dinámica de 4500Kg y 1200 Kg respectivamente como lo indica el fabricante.

3.11 Análisis de costos

Los accesorios, equipos e instrumentos fueron adquiridos en el mercado nacional que mediante el diseño propuesto fueron cotizados y adquiridos por diferentes proveedores, lo cual también ayudaron con asesorías técnicas para el ensamblaje del sistema de depuración.

3.11.1 Costo de componentes.

Los componentes para el ensamblaje del sistema de tuberías, accesorios, equipos y demás componentes, se presentan en la Tabla 3.8, cabe recalcar que había equipos comprados, accesorios y tuberías, por lo tanto, la cotización realizada es para un sistema ideal con los componentes diseñados para este proyecto.

Tabla 3.8 Costos por materiales para el sistema de depuración para moluscos bivalvos [Elaboración propia]

No	Componente	Cantidad	Precio	Subtotal	Impuesto IVA 12%	Total
1	Válvula Pie unidireccional 1 1/2" rosca hembra	3	\$5.25	\$15.75	1.89	\$17.64
2	Neplo de 1 1/2" Macho roscable	3	\$4.00	\$12.00	1.44	\$13.44
3	Adaptador para tanque macho roscable de 1 1/2"	3	\$6.00	\$18.00	2.16	\$20.16
4	Válvula de bola con unión universal de 1 1/2 roscable	3	\$7.50	\$22.50	2.70	\$25.20
5	Codo 90 ° roscable de 1 1/2"	3	\$4.11	\$12.33	1.48	\$13.81
6	Adaptador roscable macho 1 1/2" a pegable 50mm	9	\$0.88	\$7.92	0.95	\$8.87
7	Reductor pegable de 50mm a 32mm	3	\$0.70	\$2.10	0.25	\$2.35
8	Válvula check pegable de 32 mm	6	\$7.50	\$45.00	5.40	\$50.40
9	Te pegable de 32mm	57	\$0.45	\$25.65	3.08	\$28.73
10	Válvula de bola de pegable de 32mm con unión universal	9	\$2.50	\$22.50	2.70	\$25.20
11	Codos de 90° pegable de 32mm	42	\$0.62	\$26.04	3.12	\$29.16
12	Adaptador pegable de 32mm a rosca de 1"	6	\$0.62	\$3.72	0.45	\$4.17
13	Reductor roscable de 1" a 1/2"	6	\$0.50	\$3.00	0.36	\$3.36
14	Reductor roscable de 1/2" a 1/4"	6	\$0.47	\$2.82	0.34	\$3.16
15	Manómetros 1/4" roscable	6	\$7.50	\$45.00	5.40	\$50.40
16	Bridas de 63mm	6	\$3.00	\$18.00	2.16	\$20.16

17	Reductor de 63mm a 32 mm pegable	6	\$1.00	\$6.00	0.72	\$6.72
18	Válvula universal de roscable de 1 1/2"	6	\$8.00	\$48.00	5.76	\$53.76
19	Neplos machos roscable 1 1/2"	6	\$3.00	\$18.00	2.16	\$20.16
20	Tapones pegable de 32mm	3	\$0.40	\$1.20	0.14	\$1.34
21	Pallets de plástico	6	\$10.00	\$60.00	7.20	\$67.20
22	Filtro para sedimentos	3	\$525.00	\$1,575.00	189.00	\$1,764.00
23	Filtro esterilizador Ultravioleta	3	\$600.00	\$1,800.00	216.00	\$2,016.00
24	Bombas centrifugas de rosca 1 1/2"	3	\$109.00	\$327.00	39.24	\$366.24
25	Pies de amigos	9	\$0.32	\$2.88	0.35	\$3.23
26	Cintas de teflón	10	\$0.50	\$5.00	0.60	\$5.60
27	Solvente para pega de PVC	2	\$17.50	\$35.00	4.20	\$39.20
28	Amarras plásticas	2	\$1.50	\$3.00	0.36	\$3.36
29	Medidor de caudal	3	\$10.00	\$30.00	3.60	\$33.60
30	Tuberías de 1 1/2"	0.5	\$13.00	\$6.50	0.78	\$7.28
31	Tuberías de 32mm pegable	2	\$6.89	\$13.78	1.65	\$15.43
32	Perno de 3/8" x 2" Hexagonal	6	\$0.14	\$0.84	0.10	\$0.94
33	Perno s de 5/8 " x 2 1/2"	24	\$0.53	\$12.72	1.53	\$14.25
34	Pernos de 5/8" x 3"	12	\$0.85	\$10.20	1.22	\$11.42
35	Anillos de 1/4" planos acero galvanizado	9	\$0.02	\$0.18	0.02	\$0.20
36	Anillos de 3/8" planos nacionales	6	\$0.04	\$0.24	0.03	\$0.27
37	Anillos de 5/8" planos nacionales	12	\$0.10	\$1.20	0.14	\$1.34
38	Tornillos 5 x 16mm galvanizado	9	\$0.04	\$0.36	0.04	\$0.40
39	Tanques de depuración	3	\$143.25	\$429.75	51.57	\$481.32
40	Adaptador 1 1/2" P/tanque	3	\$8.43	\$25.29	3.03	\$28.32
41	Adaptador de rosca 1 1/2" a pegable de 32mm	6	\$1.00	\$6.00	0.72	\$6.72
42	Gaveta plástica	18	\$7.50	\$135.00	16.20	\$151.20
43	Gasket Permatex	3	\$10.00	\$30.00	3.60	\$33.60
44	Caucho para empaque	1	\$3.00	\$3.00	0.36	\$3.36
Total						\$5,452.69

Los costos eléctricos fueron estimados, para las conexiones pertinentes. El personal de mantenimiento estuvo a cargo de este trabajo y nos facilitó el acceso de la información mostrada en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Costos de los componentes eléctricos.

No	Componente	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal	Impuesto IVA 12%	Total
1	Panel 8 -16	1	\$18.00	\$18.00	2.16	\$20.16
2	Cajas de PVC eléctricas	3	\$2.25	\$6.75	0.81	\$7.56
3	Breaker 2x20 Amperios enchufable fino para caja	3	\$8.00	\$24.00	2.88	\$26.88
4	Breaker 1x10 Amperios enchufable fino para caja	3	\$4.00	\$12.00	1.44	\$13.44
5	Cable concéntrico 5x14 aws	55 en metros	\$3.10	\$170.50	20.46	\$190.96
6	Toma de corrientes polarizados empotra*do con tope	3	\$1.20	\$3.60	0.432	\$4.03
7	Funda rayada de 1"	10 en metros	\$3.00	\$30.00	3.6	\$33.60
8	Conectores de funda rayada de 1"	2	\$1.70	\$3.40	0.408	\$3.81
9	Conectores para funda rayada de 3/4"	2	\$1.20	\$2.40	0.288	\$2.69
10	Conectores para funda rayada de 1/2"	2	\$0.80	\$1.60	0.192	\$1.79
11	Tornillo tripa pato 1x8 mmx 25mm	24	\$0.04	\$0.90	0.108	\$1.01
12	Tacos Fisher F-6	24	\$0.04	\$0.90	0.108	\$1.01
13	Cinta aislante	1	\$1.40	\$1.40	0.168	\$1.57
Total						\$308.50

3.11.2 Costos por manos de obra.

En la Tabla 3.10 se pudo observar la mano de obra que con ayuda de la tabla de salarios mínimos amparados por el Ministerio de trabajo, (El oficial, 2021), ayudó a definir los costos por mano de obra.

Tabla 3.10 Costo de mano de obra para la instalación del sistema de depuración.

Personal Técnico	No. Trabajadores	Días Laborables	Sueldo Diario	Total
Técnico en fontanería	2	7	\$26.00	\$182.00
Técnico eléctrico	1	2	\$26.00	\$52.00
Total				\$234.00

3.11.3 Costo total del proyecto.

En esta sección incluye todos los costos asociados al sistema de depuración para moluscos bivalvos, cabe recalcar que el tiempo que se estimó se basó en la instalación real del sistema y que estuvo operando en contraste al tiempo establecido para la redacción de este documento.

Tabla 3.11 Costo total del sistema de depuración a escala de laboratorio. [Elaboración propia]

Descripción	Costo (USD)
Costo de componentes mecánicos	\$5,452.69
Costo de componentes eléctricos	\$308.50
Costo de mano de obra	\$234.00
Subtotal	\$5,995.19
10% adicional por conceptos varios	\$599.52
Total	\$6,594.71

El 10% que se hace mención en la Tabla 3.11 se debió a conceptos de materiales que pudiesen sufrir daños, por mal ensamblaje, alimentación y horas extras por parte de los técnicos si la obra se expandiera unos días más.

3.11.4 Plan de mantenimiento preventivo.

La función de cada uno de los componentes dentro del sistema se detalló en los capítulos anteriores ahora la atención se centró en que pasaría si existiera un fallo funcional en algunas de las estaciones de depuración. En la Tabla 3.12 se detallaron los posibles problemas frecuentes que normalmente se presentan en un sistema de depuración y las causas asociadas a éstas, lo cual identificando estas posibles fallas, un buen plan de mantenimiento preventivo se pudo generar más adelante.

Tabla 3.12 Identificación de posibles fallos funcionales y sus posibles consecuencias.
[Elaboración propia]

	Problema observado Fallo funcional	Modo de fallo Descripción	Efecto del fallo
Sistema de depuración para moluscos bivalvos	No hay caudal hacia el tanque	Tubería de entrada bloqueada Nivel del depósito demasiado bajo Bloqueo por bolsas de aire en las tuberías Abierta la válvula equivocada. No hay suministro eléctrico en la bomba Bloqueo de bomba o en el filtro de la bomba Bloque en el filtro de sedimentos (bolsa saturada)	Fugas en los acoples de la tubería por la presión ejercida por la bomba. Fuga de agua en otra línea de conducción. Bloqueo en el filtro de sedimentos eleva la presión y ocasiona fugas en las líneas de la impulsión o dañar el filtro.
	No hay caudal dentro del tanque	Bloqueo o bolsa de aire en las tuberías Válvula equivocada abierta No hay suministro eléctrico a la bomba Bloqueo de bomba o filtro de la bomba	Fugas de agua. Conducción del agua a descarga. Reduce la vida útil del UV.
	Caudal bajo en el tanque	Bomba subdimensionada para el sistema Filtro de la bomba parcialmente bloqueado. Las tuberías están sucias con crecimiento marino (en particular el rociador, o la barra de succión) Fuga de aire en la succión de la bomba.	Daño en la bomba. Aire en la aspiración. El motor de la bomba gira sin bombear agua.
	La lámpara UV no está encendida o parpadea	No hay suministro eléctrico a la lámpara, interruptor apagado o suministro defectuoso de la red, terminales rotos o corroídos. Hay que cambiar la unidad de encendido de lámpara rota o defectuosa.	Si la luz verde/azul no aparece en los extremos de la unidad cuando se enciende, o la lámpara parpadea la unidad no está funcionando correctamente. Corrosión en los extremos de los terminales.
	Exceso de espuma generada por moluscos	Excesiva velocidad del caudal Agua reutilizada demasiadas veces. Puede haber una gran acumulación de los desechos disueltos que provocan la formación de espuma, en particular con los mejillones y a temperaturas más altas del agua de mar. Puede ser necesario un reemplazo del agua más frecuente.	Puede estresar los moluscos y en el peor de los casos la muerte.

	El agua de mar se vuelve turbia	Si durante la purificación o el almacenamiento sumergido el agua de mar se vuelve turbia (normalmente de un color lechoso), es probable que los moluscos hayan desovado y, si se mantienen en el sistema, morirán. Esto puede deberse a que el barro y el limo no se eliminan por completo con el lavado y deben desaparecer en unas pocas horas.	Recontaminación de los moluscos y el exceso de sedimentos hace que el filtro se tape más rápido
	Los moluscos mueren o parecen débiles	Temperatura del agua demasiado alta	Un período de inmersión demasiado largo los moluscos experimentan estrés. Puede ocurrir desove.

Nota: la tabla mostrada describió los problemas frecuentes en los sistemas de depuración, las causas y sus efectos para los cuales se consideraron todas las posibilidades posibles desde el punto de vista mecánico. Esta tabla ha sido adaptada de "Depuración de bivalvos: aspectos fundamentales y prácticos", R. Lee., A. Lovatelli, L. Ababouch, (2010) Documento Técnico de Pesca, 511, p. 73. Copyright 2010 por FAO.

Una vez que se han establecido todos los posibles fallos que posiblemente pueden ocurrir, se listó una serie de actividades para el mantenimiento preventivo del sistema y el tiempo establecido que requiere. En la Tabla C.12 (apéndice C) se muestra un plan de mantenimiento semestral, por lo tanto, el tiempo que se tuvo que invertir fue de 10.25 horas o 615 minutos. En el apéndice C se encuentra el respectivo mantenimiento para la luz ultravioleta.

Como las estaciones van a operar 42 horas estos esperan un intervalo de tiempo (7 días) para exámenes microbiológicos. En la Tabla 3.13 se muestra el número de horas que el sistema debería operar en un año.

**Tabla 3.13 Tiempo en horas para la depuración anual.
[Elaboración propia]**

Tiempo por un ciclo de depuración	9 días (incluye las 48 horas de depuración y la semana para los exámenes correspondientes (paro de máquinas))
Veces que se depura al mes	3.3 ≈ 3
Veces que se depura al año (12 meses)	36
Número de horas con bombas trabajando	1512 horas

Nota: Las horas que se calcularon se las realizó con el número de horas mensuales de bombeo 3x42 horas lo cual dio 126 horas y anual fue 126x12 meses, lo cual dio un valor de 1512 horas.

Por lo tanto, recordando que el fabricante del esterilizador UV sugiere el cambio de las lámparas sea cada 8000 horas, el mantenimiento preventivo se lo realizará semestralmente junto con los demás equipos y con ayuda del plan de mantenimiento mostrado anteriormente.

Entonces, en base al tiempo estimado se realizará un mantenimiento preventivo dos veces al año y tomando como referencia el costo de mantenimiento de un sistema de depuración a escala de laboratorio (Adrián & Ruiz, 2020) se pudo proyectar el costo por mantenimiento semestral y se muestra en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Costo anual por mantenimiento del sistema de depuración. [Elaboración propia]

Descripción	Valor	Cantidad	Unidad	Costo (USD)
Costo por mano de obra.	\$26.00	10.25	Horas	\$52.00
Cambio de rodamientos	\$20.00	3		\$60.00
Cambio de escobillas	\$20.00	3		\$60.00
Mantenimiento de ultravioleta	\$40.00	3		\$120.00
Limpieza mecánica de las tuberías	\$20.00	3		\$60.00
Limpieza de filtros de sedimentación	\$20.00	3		\$60.00
Cambio de cartuchos de filtros	\$25.00	3		\$75.00
Total				\$487.00

Nota: la tabla mostró el costo de mantenimiento para un semestre en el año, pero se lo cálculo para un mantenimiento anual lo cual dio un valor de \$974.00

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

4.1 Conclusión

- Se ideó este proyecto con la finalidad de brindar un valor agregado a ciertos productos marinos de consumo en el país, entregando al consumidor un alimento libre de virus y bacterias que conserve todo el aporte nutricional que se obtiene de estas especies, ayudando a la par a pescadores que se dedican a la comercialización moluscos bivalvos, ya que al mejorar su producto ellos tendrán la posibilidad de abrirse campo a mercados internacionales.
- El sistema que se ensambló y se puso en marcha ha trabajado en jornadas de 42 horas consecutivas sin presentar problemas mecánicos, además ha presentado resultados exitosos tras realizar los análisis microbiológicos en las especies, por lo que se vuelve un claro referente de lo que puede convertirse en un sistema a gran escala que facilite la depuración masiva de moluscos para comercialización.
- Se efectuó cambios y ajustes en la disposición de tuberías y selección de accesorios convirtiéndolo en un sistema más simple y eficiente, además se tomó en consideración aspectos importantes que no estuvieron presentes en el diseño inicial, como la colocación de una armadura para soporte de gavetas, la inclinación en el suelo para el drenaje total del fluido, soporte para filtros y el diseño de tuberías para desagüe.
- Se elaboró un plan de mantenimiento que garantizó un mayor tiempo de vida útil de los distintos equipos que conforman el sistema, el cual debe ser efectuado 2 veces al año y le toma a un técnico un tiempo aproximado de 10 horas y media llevarlo a cabo en su totalidad.
- Al tratarse de un sistema de pruebas a nivel de laboratorio, existieron ciertos criterios y lineamientos que debieron ser modificados de la idea

base para lograr adaptarse a las necesidades requeridas por el cliente. Debido a esto nuestras alternativas de solución se propusieron y evaluaron validadas en especificaciones del espacio de trabajo y materiales que tuvimos a disposición, sin embargo, todas las soluciones resultaron de utilidad y se puede concluir que el sistema puede ser desarrollado a gran escala para una depuración masiva de moluscos bivalvos.

- El sistema de recirculación a nivel de laboratorio cuenta con cinco componentes importantes, el tanque que sirve como el medio donde reposaron los moluscos durante 42h en su proceso de depuración, la bomba que es la encargada de hacer que el fluido este en constante recirculación, el filtro que cumple la función de retener todos los sedimentos, generados por los moluscos, que ingresen a las tuberías, el esterilizador ultravioleta que es el encargado de eliminar los virus y bacterias que están siendo expulsados al fluido por los moluscos y finalmente el aspensor que cumple con la función de oxigenar el fluido para mantener a las especies en un ambiente confortable.
- Se seleccionó un tanque de polietileno de rotomoldeo de capacidad de 600L, el cual tiene capacidad para albergar 90kg de moluscos para el proceso de depuración, esta cantidad de moluscos está pensada para ser distribuida en 6 gavetas de polietileno de alta densidad apiladas en 2 columnas de 3 unidades. Ambos materiales son resistentes a la salinidad de fluido a la que estarán expuestos y además no representan un peligro para las especies a depurar.
- Los filtros de sedimentación y las lámparas UV fueron escogidos, por el cumplimiento de su función principal, por la capacidad de trabajar a la presión y caudal que entrega la bomba que se seleccionó, la cual es resistente a la corrosión y tiene una capacidad de entregar 20L/min, que son valores determinados por la FAO para que las especies no sufran ningún tipo de estrés durante el proceso de depuración.

- Dentro del proceso de diseño para el aspersor, se pudo concluir que a mayor diámetro de orificios, el sistema entregó una menor velocidad de descarga, también podemos concluir que a mayor velocidad de descarga mayor será el impacto con la superficie del agua lo cual generaran perturbaciones que facilitan aún más la oxigenación del fluido, sin embargo, una velocidad muy alta podría también estresar a las especies que se encuentran dentro, lo que resulta perjudicial para el sistema. Para nuestro sistema se seleccionó los 5mm de diámetro como un valor óptimo para los agujeros del aspersor, entregando resultados satisfactorios en los niveles medidos de oxígeno disuelto en al agua dentro del tanque.
- Pese a que la selección para el soporte de gavetas se determinó como mejor alternativa la utilización de listones de nylon, se optó por una armadura ensamblada con tuberías de PVC, solución que no resultaba la más adecuada, sin embargo, era un material que se tenía a disposición por lo que nos reduciría costos y al hacer un análisis de esfuerzos se determinó que es capaz de resistir la carga.
- La factibilidad del sistema de depuración se basó en los experimentos realizados por los biólogos que estuvieron a cargo de los experimentos, todos los exámenes resultaron dentro de rango de valores permitidos por normativa y la depuración fue un éxito en todos los experimentos realizados.

4.2 Recomendación

- De acuerdo con la FAO se recomienda direccionar los orificios del aspersor con un ángulo de inclinación de 27° por encima de la vertical.
- Se recomienda cambiar las bolsas del filtro de sedimentación cuando el manómetro a la salida del filtro marque una baja en la presión considerable.
- Se recomienda que el plan de mantenimiento preventivo, desarrollado al final del capítulo 3, sea realizado cada 6 meses.

Para ensamblar las secciones de tubería PVC de pega con los accesorios y demás componentes del sistema, es recomendable realizar el siguiente procedimiento:

- Cortar la sección de tubería requerida,
- Eliminar las rebabas consecuentes del corte
- Limpiar la superficie a pegar
- Revisar que exista un ajuste adecuado entre la tubería y el conector.
- Aplicación del cemento solvente en las superficies a pegar con ayuda de un aplicador.

Al tratarse de sistemas de laboratorio y no contar con agua de mar a disposición, se recomienda regular la salinidad para la mezcla de agua dulce y sal, hecha en los laboratorios, a 35 Unidades Prácticas de Salinidad (UPS) por cada 100L de agua.

Limpiar previamente los moluscos con agua a presión para extraer la mayor cantidad de desechos que reposan sobre ellos, propios del medio natural en que habitan. Esto con la finalidad de evitarle trabajo excesivo al filtro de sedimentación, dándole un tiempo de vida útil más largo a las bolsas que lleva en su interior.

Asegurarse de que el caudal del sistema este alrededor de los 20L/min con ayuda del caudalímetro ubicado a la entrada de la lámpara UV, de ser necesario regular dicho caudal cerrar ligeramente la válvula ubicada a la salida de la bomba. Llevar un control de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y turbidez del agua 2 veces al día.

Tomar un molusco como muestra de cada tanque al azar, al finalizar las 42 horas del proceso de depuración, para análisis biológicos.

Para vaciar el tanque utilizar primero la tubería de descarga, conectada a la bomba, asegurándose que la válvula de descarga este abierta y la válvula del sistema esté cerrada, hasta alcanzar una altura mínima por encima de la

válvula de pie ubicada en el interior del tanque. Luego apagar la bomba y abrir la válvula de tubería de desagüe para vaciar el tanque en su totalidad. El vaciado de los tanques se debe realizar de uno a la vez.

Aunque por cuestiones de tiempo se tuvo que realizar el sistema de depuración con instrumentación mecánica (rotámetros y medidores de presión), la solución más viable y económica que puede dar iguales resultados en la medición, es la utilización de instrumentación electrónica (parte de la alternativa ganadora del capítulo 2) puesto que, pueden ser adaptables al sistema y que pueden arrojar datos, para su posterior almacenamiento en alguna aplicación y su posterior análisis.

Aunque el plan de mantenimiento se basó en la vida útil de los esterilizadores UV y el procedimiento para su limpieza y reemplazo se mostró en este documento, también es útil la utilización de un medidor de turbidez del agua, para saber si el equipo UV está operando en condiciones pertinentes.

Puesto que hubo pérdidas de agua por evaporación, se recomienda tener tapado los tanques por lo menos lo suficiente como para que el aspersor pueda oxigenar a los moluscos. Para evitar esta evaporación de agua por temperaturas elevadas se recomienda tener un ambiente controlado y adecuado para que los parámetros biológicos estén acorde a la normativa respectiva.

Para evitar maniobrar el caudal con la válvula a la salida de la bomba y tener que estabilizar el mismo con ayuda del rotámetro, se recomienda instalar un caudal a la entrada de la aspersión así se puede tener un mejor control del caudal y una mejor facilidad para maniobrar el mismo. (En el caso de tener una bomba sobredimensionada).

BIBLIOGRAFÍA

- 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).
- Alvarez, R., Sonnenholzner, S., & Stern, S. (2008). Estado actual de la acuicultura de moluscos bivalvos en Ecuador. *FAO Actas de Pesca y Acuicultura*, 0, 129–133.
- BOE Legislación consolidada. (1999). Reglamentación Técnico-Sanitaria que fija las normas aplicables a la producción y comercialización de moluscos bivalvos vivos. Retrieved from <https://www.boe.es/buscar/pdf/1999/BOE-A-1999-8185-consolidado.pdf>
- Bravo, A. (2021). Accesorios PVC. Retrieved July 19, 2021, from accesorios para tuberías PVC website: https://www.facebook.com/ferrobronce_almiravi-103494564611151
- Catálogos de bombas centrifugas. (2021). Retrieved August 28, 2021, from <http://www.frecuento.com>
- Catalogos de implementos para piscinas. (2021). Retrieved July 12, 2021, from <https://www.acuamain.com.ec/productos/>
- Çengel, A., & Cimbala, M. (2018). *Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones* (Primera Ed). Mexico: McGrawHill.
- Correoso, M. (2018). Moluscos y Manglares en Ecuador . Consideraciones y Perspectivas. *Moluscos y Manglares En Ecuador. Consideraciones y Perspectivas*.
- Dieter, G., & Schmidt, L. (2012). *Engineering design* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- El oficial. (2021). SALARIOS PROMEDIO EN LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR. Retrieved from <https://eloficial.ec/salarios-promedio-en-la-construccion-en-ecuador/>
- Ferretería-Gavetas. (2021). Retrieved June 15, 2021, from <ps://www.pycca.com/GAVETAS>
- Ferrobronce. (2021). @Ferrobronce_almiravi, accesorios para tuberías. Retrieved from 19 julio 2021 website: https://www.instagram.com/p/B_0cxAJp33L/
- G. Budynas, R., & Keith, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8th ed.). Mexico D. F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Grech, M. (2001). *Introducción a la Ingeniería Mecánica. Un enfoque a través del diseño*. (2nd ed.; P. Educación, Ed.). Bogotá.

- Industria Acuicola. (2012). Sistema de recirculación en acuicultura: una visión y retos diversos para latinoamérica. *Industria Acuicola*, 8(Sistemas de recirculación), 4–5. Retrieved from <http://www.industriacuicola.com>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2013). Norma para los moluscos bivalvos vivos y los moluscos bivalvos crudos (CODEX STAN 292-2008, MOD, NTE INEN 2729). Retrieved from https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2729.pdf
- Junta de Galicia. (2014). Aspectos Generales depuración de moluscos bivalvos. Retrieved from Normativa española website: [https://mar.xunta.gal/es/search/node/depuracion moluscos bivalvos](https://mar.xunta.gal/es/search/node/depuracion%20moluscos%20bivalvos)
- Lee, R., Lovatelli, A., & Ababouch, L. (2010). Depuración de bivalvos : aspectos fundamentales y prácticos. In *Depuración de bivalvos: aspectos fundamentales y prácticos*.
- Lenntech. (2021). Filtros de retención de partículas. Retrieved July 15, 2021, from Bolsas de filtro website: <https://www.lenntech.es/filtro-de-bolsa.htm>
- Lubripernos. (2021). Catálogos de pernos y tuercas. Retrieved from <http://lubripernos.com/contactenos/>
- Martínez, M. Á. (1993). *Hidráulica aplicada a proyectos de riego* (ed. II). Murcia.: Universidad de Murcia. Secretario de publicaciones.
- Mercasa. (2021). Mariscos, moluscos y crustáceos. Retrieved from <https://www.mercasa.es/media/productos/Mejillon.pdf>
- Merino, O., & Sal, F. (2007). *Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua*. Retrieved from [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/_archivos/000000_Otros sistemas/000003-Sistemas de recirculación y tratamiento de agua.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/_archivos/000000_Otros%20sistemas/000003-Sistemas%20de%20recirculacion%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf)
- Oleas, J., Bravo, Y., & Clevel, K. (2017). Estudio comparativo de la calidad de los ríos Teañe y Atacames empleando macroinvertebrados Como bioindicadores. *Gestión Ambiental*, 14, 30.
- Salvador, T. (2004). *Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural*. 19. Retrieved from [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/032_Diseño_líneas de conducción e impulsión/Diseño_líneas de conducción e impulsión.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/032_Diseño_líneas%20de%20conduccion%20e%20impulsion/Diseño_líneas%20de%20conduccion%20e%20impulsion.pdf)
- Seafish. (2018). *Seafish Standard Design Purification Systems: Operating manual for vertical stack system*. United Kingdom.

- Sorroza, L., Velasquez, P., Santacruz, R., Espinoza, E., Yáñez, M., & Solano, G. (2018). Disminución / Reducción de la carga bacteriana en la concha negra *Anadara tuberculosa* para consumo humano. *Revista Espacios*, 39(0), 34.
- Tanque rectangular. (2021). Retrieved June 15, 2021, from <https://www.plastimetsa.com/>
- Uriarte, I., Lovatelli, A., Farías, A., Astorga, M., Medina, C., Avendaño, M., ... Cáceres-Martínez, G. (2008). *Cultivo y manejo de moluscos bivalvos en América Latina : resultados y conclusiones del primer taller – ACUIBIVA 2007* (pp. 1–23). pp. 1–23.
- V. Krick, E. (1979). *Introducción a la ingeniería y al diseño en ingeniería mecánica* (reimpresión; Limusa, Ed.). Mexico.
- Warren, L., Julian, C., & Harriot, P. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Septima ed). McGraw-Hill Interamericana.
- White, F. M. (2004). *MECÁNICA DE FLUIDOS* (5th ed.). Rhode Island: McGraw-Hill Education.

APÉNDICE

APÉNDICE A. Herramientas para el proceso de diseño

Tabla A.1 Lista de preguntas para tratar el proceso de diseño [Elaboración propia]

Preguntas sobre el sistema de depuración para moluscos bivalvos	Clasificación de las preguntas
¿Cómo se va a utilizar el sistema de depuración?	Se están aclarando los objetivos establecidos para el diseño por el cliente.
¿Debe ser estético, grande o pequeño?	
¿Cuánto deberá costar?	
¿Puede depurar cualquier tipo de especie de molusco?	
¿Puede el sistema eliminar virus y bacterias asociadas a los moluscos bivalvos?	
¿Deberá ser de fácil transportación?	Se están estableciendo los requerimientos del usuario para el diseño.
¿Cuánto puede costar?	
¿Cuáles son los métodos de desinfección según la FAO, en temas de depuración de moluscos?	Se están identificando las restricciones que rigen el diseño
¿Se puede ensamblar todo el sistema de depuración?	
¿Cuánto es el caudal permitido para las depuradoras de moluscos?	
¿Se puede depurar moluscos con habitud en contaminación clase C?	
¿Puede el sistema de depuración utilizar agua de mar artificial?	Se están estableciendo las funciones del diseño.
¿Puede el sistema evacuar los sedimentos creados por parte de los moluscos?	
¿Puede el sistema oxigenar a una temperatura adecuada, a los moluscos sin estresar a los mismos?	

¿Puede el Sistema mantener un caudal de 20 L/min siempre?	
¿Puede el sistema desinfectar y eliminar los microorganismos patógenos de los moluscos?	Se están estableciendo las especificaciones del diseño.
¿Cuánta carga máxima deberá soportar la depuradora de moluscos?	
¿De cuánto serán las dimensiones del tanque de depuración?	
¿Cuáles son las dimensiones de las gavetas de depuración?	
¿Cuántas gavetas son permitidas para el diseño?	
¿Puede el sistema desinfectar mediante cloro, luz ultravioleta u ozono?	Se están generando alternativas de diseño.
¿Qué instrumentos deben utilizarse mecánicos, eléctricos u electrónicos?	
¿Qué es mejor comprar un tanque cuadrado o mandarlo hacer?	
¿El tanque de depuración podrá hacer de fibra de vidrio, acero inoxidable o PVC?	
¿Cuánto es el esfuerzo máximo que soporta el emparrillamiento del sistema?	Se está probando y evaluando el diseño
¿Cuánto es el nivel de salinidad permisible para que el sistema pueda depurar?	
¿Cuánto es el nivel máximo aceptado de coliformes fecales y totales que debe mostrar el sistema al final de un ciclo de depuración?	
¿Cuánto es la capa de espesor máxima de sedimentos que el sistema puede permitir?	
¿Cuánto es el volumen de agua máximo según la carga de los moluscos?	
¿Hay un diseño más económico?	Se está afinando y optimizando el diseño
¿Hay un diseño más eficiente?	

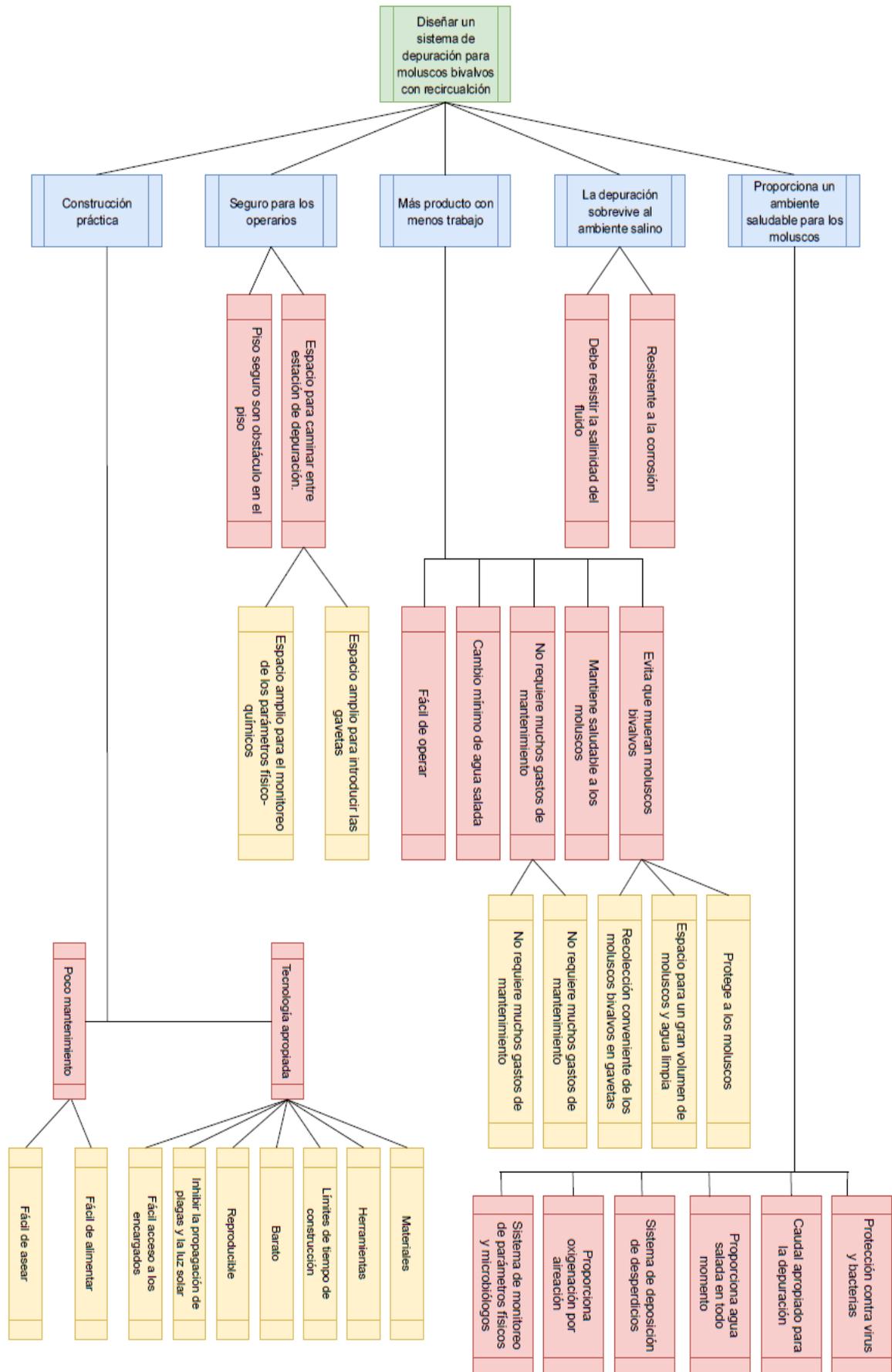


Figura A.1 Árbol de objetivos para un sistema de depuración de moluscos bivalvos

A.1 Método ordinal de criterios ponderados

El método compara los elementos de una fila superior con los elementos de la columna izquierda y se los evalúa de acuerdo con las siguientes reglas:

Valor 1: Significa que el valor de la meta o criterio de la columna izquierda tiene mayor influencia o tiene una estimación alta con respecto a los demás metas u objetivos.

Valor 0.5: En el caso que el objetivo o criterio tenga igual importancia con respecto a los demás objetivos o criterios de la fila superior.

Valor 0: En el caso que el objetivo o criterio no tenga importancia con respecto a los demás objetivos o criterios de la fila superior.

Cabe recalcar que este análisis se lo realizó con ayuda del árbol de objetivos de la Figura A. 1

Esta técnica fue tomada del libro de Introducción a la ingeniería mecánica del autor Pablo Grech Mayor (2001)

Tabla A.2 Cuadro de comparación por pares para el sistema de depuración [Elaboración propia]

Metas	Materiales	Herramientas	Límites de tiempo de construcción	Barato	Reproducibile	Inhibir la propagación de plagas y la luz	Fácil acceso para los encargados	Total
Materiales	.....	1	0	1	1	0	0	3
Herramientas	0	.....	1	0	1	0	0	2
Límites de tiempo de construcción	1	0	.....	0	0	0	0	1
Barato	0	1	1	.....	0	0	0	2
Reproducibile	0	1	1	1	.....	0	0	3
Inhibir la propagación de plagas y la luz solar	1	1	1	1	1	.....	1	6
Fácil acceso a los encargados	1	1	1	1	1	0	.....	5
Total								22

En la Tabla A.2 se puede apreciar el método mencionado y su análisis de comparación simple de siete submetas para la meta de segundo orden “Tecnología apropiada” en base a su orden de importancia fue dado de la siguiente manera: Inhibir la propagación de plagas y la luz solar > Fácil acceso a los encargados > reproducible = materiales > barato > límites de tiempo de construcción y se sugirió que los valores para las siete metas de tercer orden tengan valores normalizados de, $\frac{6}{22} = 0.27$; $\frac{5}{22} = 0.23$; $\frac{3}{22} = 0.14$; $\frac{2}{22} = 0.09$; $\frac{1}{22} = 0.05$.

Tabla A.3 Cuadro de comparación por pares, con respecto a la meta de segundo orden [Elaboración propia]

Metas	Protege a los moluscos	Espacio para un gran número de volumen de moluscos y agua limpia	Recolección conveniente de los moluscos en las gavetas	Total
Protege a los moluscos	.....	1	0	2
Espacio para un gran número de volumen de moluscos y agua limpia	0	.....	1	1
Recolección conveniente de los moluscos en las gavetas	1	0	.....	1
Total				4

Nota: La meta de segundo orden designó el concepto de evitar que mueran los moluscos bivalvos.

Por lo tanto el análisis de comparación simple de tres submetas para la meta de segundo orden “Evita que mueran moluscos bivalvos” en base a su orden de importancia fue dado de la siguiente manera:

Proteger a los moluscos > Espacio para un gran número de volumen de moluscos y agua limpia = recolección conveniente de los moluscos en las

gavetas y se sugirió que los valores para las tres metas de tercer orden tengan valores normalizados de, $\frac{2}{4} = 0.50$; $\frac{1}{4} = 0.25$; $\frac{1}{4} = 0.25$.

Tabla A.4 Cuadro de comparación por pares meta de primer orden. Más producto por menos trabajo [Elaboración propia]

Metas	Evita que mueran moluscos bivalvos	Mantiene saludable a los moluscos	No requiere gastos de mantenimiento	Cambio mínimo de agua salada	Fácil de operar	Total
Evita que mueran moluscos bivalvos	.....	1	1	1	1	4
Mantiene saludable a los moluscos	0	.....	1	1	1	3
No requiere gastos de mantenimiento	0	0	.....	0	1	1
Cambio mínimo de agua salada	0	0	1	.....	0	1
Fácil de operar	0	0	0	1	.....	1
Total						10

Por lo tanto el análisis de comparación simple de cinco submetas para la meta de primer orden “Más producto con menos trabajo” en base a su orden de importancia fue dado de la siguiente manera:

Evitar que mueran moluscos bivalvos > Mantiene saludable a los moluscos bivalvos > No requiere gastos de mantenimiento = cambio mínimo de agua salada = fácil de operar y se sugirió que los valores para las cinco metas de segundo orden tengan valores normalizados de, $\frac{4}{10} = 0.40$; $\frac{3}{10} = 0.30$; $\frac{1}{10} = 0.10$; $\frac{1}{10} = 0.10$; $\frac{1}{10} = 0.10$, como se puede apreciar en la tabla A.4

Tabla A.5 Cuadro de comparación por pares para meta de primer orden. Ambiente saludable. [Elaboración propia]

Metas	Protección contra virus y bacterias	Caudal apropiado para la depuración	Proporciona agua salada en todo	Sistema de disposición de	Proporciona oxigenación por	Sistema de monitoreo de	Total
Protección contra virus y bacterias	.....	1	1	1	1	0	4
Caudal apropiado para la depuración	1	.....	1	1	1	1	5
Proporciona agua salada en todo momento	0	0	.....	0	1	0	1
Sistema de disposición de desperdicios	0	0	1	.....	0	1	2
Proporciona oxigenación por aireación	0	0	0	1	.....	1	2
Sistema de monitoreo de parámetros físicos y microbiológicos	1	0	1	0	0	.....	2
Total							16

Por lo tanto el análisis de comparación simple de seis submetas para la meta de primer orden “Proporciona un ambiente saludable para los moluscos” como se observó en la Tabla A.5 en base a su orden de importancia fue dado de la siguiente manera: caudal apropiado para la depuración > protección contra virus y bacterias > sistema de disposición de desperdicios = proporciona oxigenación por aireación = sistema de monitoreo de parámetros físicos y microbiológicos > proporciona agua salada en todo momento, y se sugirió que los valores para las seis metas de segundo orden tengan valores normalizados de, $\frac{5}{16} = 0.31$; $\frac{4}{16} = 0.25$; $\frac{2}{16} = 0.13$; $\frac{2}{16} = 0.13$; $\frac{2}{16} = 0.13$ y $\frac{1}{16} = 0.06$

Estos valores normalizados sirvieron tener el grado de importancia de cada meta del árbol de objetivos, estos serán utilizados en la casa de la calidad para poder seleccionar los criterios que serán utilizados para las alternativas de solución.

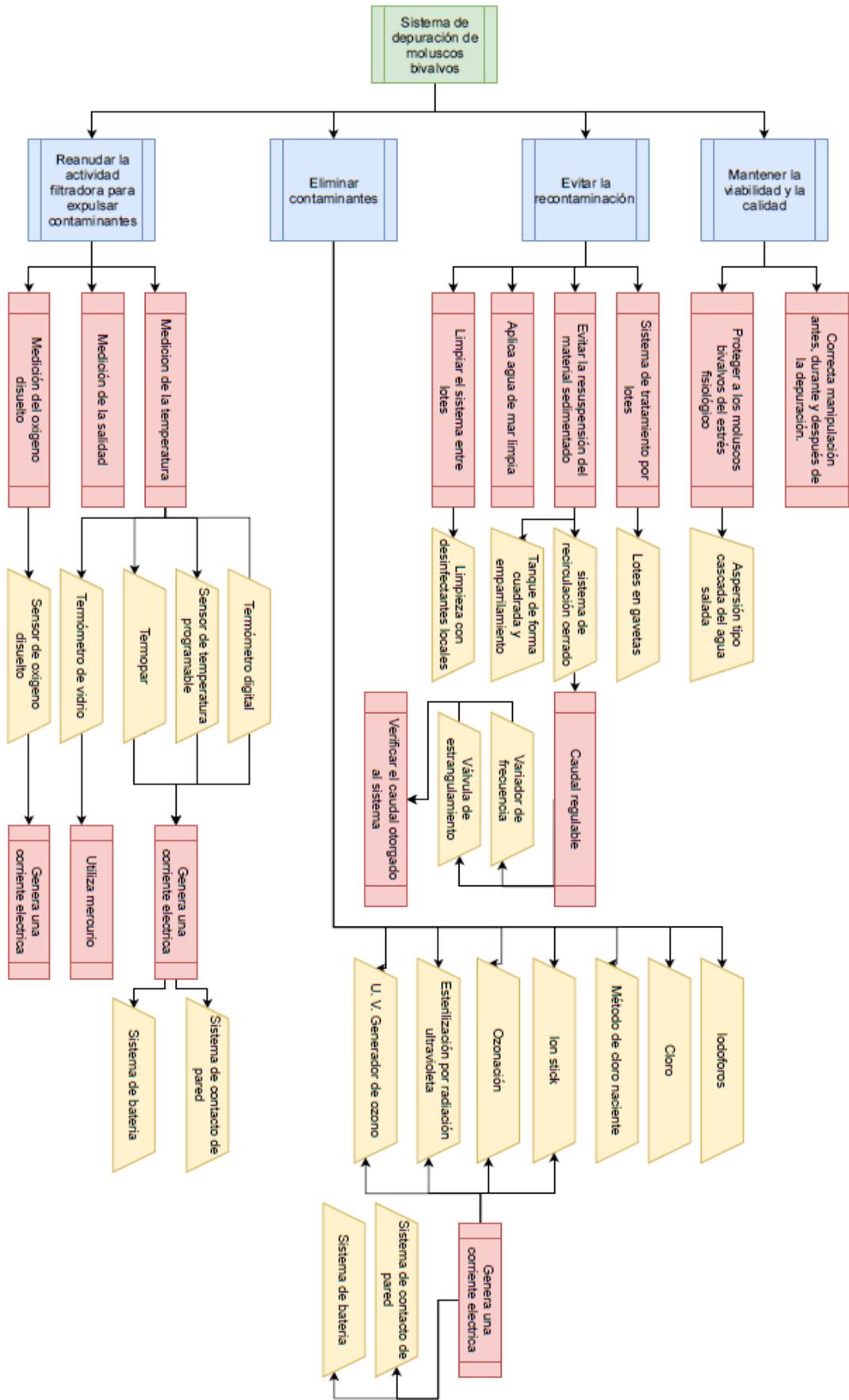


Figura A.2 Árbol de funciones y medios. [Elaboración propia]

Tabla A.6 Objetivos y sus sistemas de medición. [Elaboración propia]

No	Objetivos	Sistema de medición
1	Resistente a la corrosión	Simular condiciones mediante manguera con agua salada para ver si el agua salada reacciona con los componentes del sistema
2	Resistente a la salinidad del fluido	Simular condiciones mediante manguera con agua salada para ver si el agua salada reacciona con los componentes del sistema
3	Espacio amplio para introducir gavetas	Determinado por la facilidad del operador en realizar el proceso de depurado
4	Espacio para el monitoreo de parametros fisico quimicos	Determinado por la facilidad del operador para realizar la toma de datos de la depuración.
5	Debe proteger a los moluscos	Determinado por el operador desde su recoleccion hasta la llegar al etiquetado
6	Debe manejar una gran cantidad de moluscos y agua limpia	Determinado por las dimensiones del tanque [L]
7	Recoleccion conveniente de moluscos bivalvos en gavetas	Determinado por las dimensiones de la gaveta [mm]
8	Mantenimiento minimo	Determinado por los equipos a utilizar
9	Mantiene saludadable a los moluscos	Determinado por el caudal del sistema [L]
10	Cambio minimo de agua salada	Determinado por los filtros y por el ultravioleta
11	Facil de operar	Determinado por la facilidad del operador en realizar el proceso de depuracion.
12	Fácil de limpiar y monitorear	Determinado por la facilidad del operador en realizar el proceso de depuracion [muy facil, facil, moderado, dificil, muy dificil]
13	Materiales y herramientas apropiados	Si se encuentran o no localmente disponibles
14	Limites de tiempo de construcción	Determinado por el mismo proyecto [t]
15	Barato	Determina la relacion entre costo neto y numero de moluscos vivos en la depuracion.

16	Reproducible	Construir un modelo a escala, luego darselo a un voluntario y pedirle que construya otro con los mismos materiales.
17	Proteger de la propagacion de plagas y la luz solar	Determinado por el lugar geografico del lugar
18	Fácil acceso a los encargados	Determinado por los operarios [Facil, moderado, dificil]
19	Protección contra virus y bacterias	Determinado por los sistemas de desinfeccion para molsucos bivalvos que existen
20	Caudal apropiado para la depuración	Determinado por la selección de la bomba adecuada. [HP]
21	Sistema de dispocision de desperdicios	Determinado por la carga fecal que se genera durante la depuracion mediante indicadores microbianos.
22	Debe proporcionar oxigeno al sistema	Determinado por los aspersores del sistema [mg/L]
23	Debe proporcionar informacion de parámetros físico y microbiológicos	Determinado por los instrumentos de medicion [salinidad, temperatura, oxigeno disuelto]
24	Amigable con el ambiente	Determiando si los materiales utilizados son amigables con el ambiente [Si/No]

Nota: En esta tabla se muestran algunas de las pruebas (sistemas de medición) que fueron propuestas. Muchas de las pruebas requirieron más tiempo o más recursos de los que en realidad disponía el sistema de depuracion de moluscos bivalvos.

Tabla A.7 Requerimientos del usuario para el sistema de depuración para moluscos bivalvos. [Elaboración propia]

Requerimientos del usuario	Objetivos	Restricciones	Funciones
Barata	X		
Reproducible	X		
Resistente a la corrosión	X		
Fácil de usar	X		
Fácil de limpiar y monitorear	X		
Espacio amplio para introducir las gavetas	X		
Espacio para monitorear los parametros fisico quimicos	X		
Debe salvaguardar la supervivencia de los moluscos	X		
Mantenimiento minimo	X		
Mantiene saludable a los moluscos	X		
Materiales y herramientas disponibles	X		
Desmontable	X		
Proteccion contra virus y bacterias	X		
Control de sedimentos	X		
Proveer sistema de disposicion de deshechos	X		
Proporcionar un caudal apropiado	X		
Fácil acceso de los encargados	X		
Manejo de la carga fecal de los moluscos	X		
Manejar gran cantidad de moluscos y agua salada	X		
Amigable con el ambiente	X		
La depuracion se la realiza si el lugar de captacion es de clase B		X	
No debe pasarse de los 550 [litros] de volumen		X	
El tipo de material a usar debe proteger de la corrosion (HDPE, acero inoxidable, fibra de vidrio.		X	
Debe manejar un caudal de 20 [L/min]		X	
Las gavetas para depuracion deben ser de HDPE y agujereadas.		X	
La base del tanque de depuracion debe tener una pendiente de 1:100		X	

Las gavetas solo se pueden apilar en dos columnas de tres filas cada una		X	
La carga maxima del tanque es de $30 \frac{kg}{m^2}$		X	
Tiempo minimo de la depuracion 42 [horas]		X	
No debe recircular material fecal		X	
Las cestas de depuracion deben estar elevadas 2,5 [cm] desde el fondo del tanque		X	
La longitud del tanque no debe triplicar la anchura.		X	
Trabajar con sistema de lotes por tandas completas todo dentro o todo fuera		X	
Los soportes que aguantan el peso de las gavetas deben situarse en la direccion paralela a la direccion del flujo		X	
Al apilar las gavetas una encima de otra deben quedar un espacio entre los moluscos de cajas superiores con las inferiores de 3cm (mayoria de especies) y 8cm (mejillon)		X	
Debe tener entre 3 a 8 [cm] de agua en la capa superior a la depuracion		X	
El contenido de oxigeno disuelto > 5 [mg/L]		X	
Debe tener un limite de turbidez de 20 [UNT] para que el UV trabaje efectivamente		X	
Reanuadar la actividad filtradora			X
Eliminar contaminantes			X
Evitar la recontaminación			X
Mantener la viabilidad y la calidad			X
Manejo de los desperdicios y sedimentos			X

Tabla A.8 Requerimientos técnicos para el sistema de depuración de moluscos bivalvos. [Elaboración propia]

Requerimientos técnicos	Objetivos	Especificaciones (Funciones)
Costo de producción del equipo [\$]	X	
Tiempo de instalación [horas]	X	
Facilidad de operación [Muy fácil, fácil, difícil, muy difícil]	X	
Capacidad [Litros]	X	
Dimensiones del tanque [mm]	X	
Dimensiones de las gavetas [mm]	x	
Elementos del sistema [#]	X	
Ergonomía [Baja. Media, Alta]	X	
Precisión de la instrumentación [Baja. Media, Alta]	X	
Uso de partes y estándares [Comercial, No comercial]	X	
Apreciación visual [Agradable, No agradable] Estética	X	
Consumo de energía bajo [Watts]	X	
Eliminar contaminantes. [Establecido en criterios de normativa]		X
Evitar la resuspensión del material sedimentado [micras]		X
Evitar que el material fecal depositado vuelva a estar en suspensión [micras]		X
Calidad de la producción [%]		X
Flujo de agua apropiado para evitar stress a los moluscos [L/min]		X
Reanudar la actividad filtradora [Baja, media, alta]		X

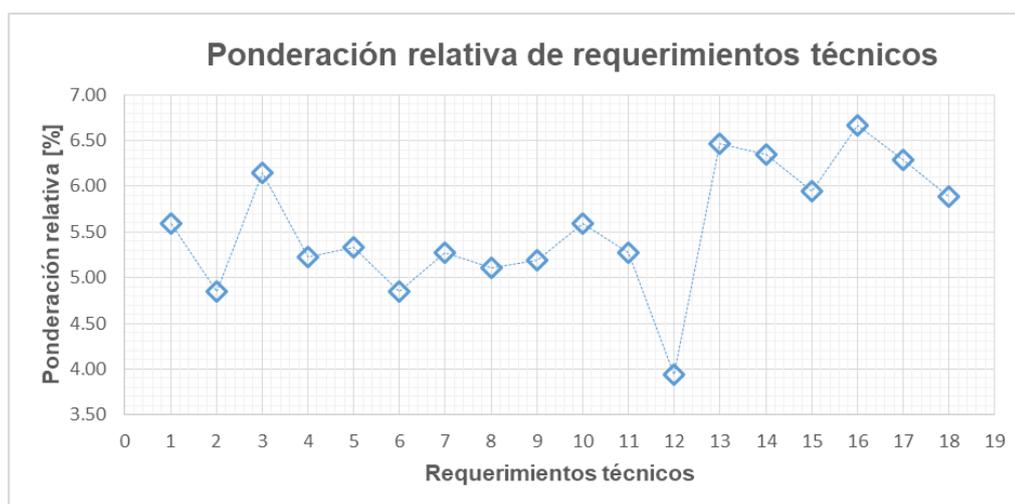


Figura A.4 Ponderación relativa de requerimientos técnicos. [Elaboración propia]

Tabla A.9 Cuadro de comparación por pares. Requerimientos técnicos

Metas	Calidad de producción	Eliminación de contaminantes	Evitar la resuspensión del material sedimentado	Flujo de agua apropiado	Facilidad de operación	Costo de producción del equipo	Reanudar la actividad filtradora	Uso de partes y estándares	Total
Calidad de producción	....	0.5	0	0.5	1	0	1	0.5	3.5
Eliminación de contaminantes	0.5	....	1	1	1	0	1	0.5	5
Evitar la resuspensión del material sedimentado	1	0	....	1	0	0.5	1	0.5	4
Flujo de agua apropiado	0.5	0	0	....	1	1	1	1	4.5
Facilidad de operación	0	0	1	0	....	0	0.5	1	2.5
Costo de producción del equipo	1	1	0.5	0	1	....	0.5	1	5
Reanudar la actividad filtradora	0	0	0	0	0.5	0.5	....	0.5	1.5
Uso de partes y estándares	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.5	....	2
Total									28

Por lo tanto el análisis de comparación simple de ocho criterios técnicos, en base a su orden de importancia fue dado de la siguiente manera: Costo de producción del equipo = Eliminación de los contaminantes > Flujo de agua apropiado > Evitar la resuspensión del material sedimentado > Calidad de producción > Facilidad de operación > Uso de partes y estándares > Reanudar la actividad filtradora y se sugirió que los valores para las seis metas de segundo orden tengan valores normalizados de, $\frac{5}{28} = 0.18$; $\frac{5}{28} = 0.18$; $\frac{4.5}{28} = 0.16$; $\frac{4}{28} = 0.14$; $\frac{3.5}{28} = 0.13$; $\frac{2.5}{28} = 0.09$; $\frac{2}{28} = 0.07$; $\frac{1.5}{28} = 0.08$.

A.2 Evaluación de los criterios de selección con las alternativas de solución.

Tabla A.10 Criterio costo de producción frente a las alternativas de solución 1-2. [Elaboración propia]

Calidad de producción.	Alternativa 1	Alternativa 2	Puntuación	Ponderación
Alternativa 1	1	0.5	1.5	0.43
Alternativa 2	1	1	2.0	0.57
Total			3.5	1.00

Tabla A.11 Criterio “Eliminación de los contaminantes” frente a las alternativas de solución 1-2. [Elaboración propia]

Eliminación de contaminantes	Alternativa 1	Alternativa 2	Puntuación	Ponderación
Alternativa 1	1	0	1	0.50
Alternativa 2	0	1	1	0.50
Total			2	1.00

**Tabla A.12 Flujo de agua apropiado frente a las alternativas de solución 1-2
[Elaboración propia]**

Flujo de agua apropiado	Alternativa 1	Alternativa 2	Puntuación	Ponderación
Alternativa 1	1	1	2	0.50
Alternativa 2	1	1	2	0.50
Total			4	1.00

Tabla A.13 Criterio Evitar la resuspensión del material sedimentado frente a las alternativas de solución 1-2. [Elaboración propia]

Evitar la resuspensión del material sedimentado	Alternativa 1	Alternativa 2	Puntuación	Ponderación
Alternativa 1	1	0	1	0.50
Alternativa 2	0	1	1	0.50
Total			2	1.00

**Tabla A.14 criterio “Calidad de producción” frente a las alternativas de solución 1-2
[Elaboración propia]**

Calidad de producción	Alternativa 1	Alternativa 2	Puntuación	Ponderación
Alternativa 1	1	0.5	1.5	0.50
Alternativa 2	0.5	1	1.5	0.50
Total			3.0	1.00

**Tabla A.15 criterio “Facilidad de operación” frente a las alternativas de solución 1-2.
[Elaboración propia]**

Facilidad de operación	Alternativa 1	Alternativa 2	Puntuación	Ponderación
Alternativa 1	1	1	2.0	0.57
Alternativa 2	0.5	1	1.5	0.43
Total			3.5	1.00

Tabla A.16 criterio “Uso de partes y estándares” frente a las alternativas de solución 1-2 [Elaboración propia]

Uso de partes y estándares	Alternativa 1	Alternativa 2	Puntuación	Ponderación
Alternativa 1	1	0	1	0.33
Alternativa 2	1	1	2	0.67
Total			3	1.00

Tabla A.17 Criterio “Reanudar la actividad filtradora” frente a las alternativas de solución 1-2. [Elaboración propia]

Reanudar la actividad filtradora	Alternativa 1	Alternativa 2	Puntuación	Ponderación
Alternativa 1	1	0.5	1.5	0.50
Alternativa 2	0.5	1	1.5	0.50
Total			3.0	1.00

Tabla A.18 Criterio “Costo de producción” frente a las alternativas de solución 3-4. [Elaboración propia]

Costo de producción del equipo.	Alternativa 3	Alternativa 4	Puntuación	Ponderación
Alternativa 3	1	0	1.0	0.33
Alternativa 4	1	1	2.0	0.67
Total			3.0	1.00

Tabla A.19 Criterio “Eliminación de los contaminantes” frente a las alternativas de solución 3-4. [Elaboración propia]

Eliminación de los contaminantes	Alternativa 3	Alternativa 4	Puntuación	Ponderación
Alternativa 3	1	1	2.0	0.57
Alternativa 4	0.5	1	1.5	0.42
Total			3.5	1.00

**Tabla A.20 Criterio flujo de agua apropiado frente a las alternativas de solución 3-4.
[Elaboración propia]**

Flujo de agua apropiado	Alternativa 3	Alternativa 4	Puntuación	Ponderación
Alternativa 3	1	1	2	0.50
Alternativa 4	1	1	2	0.50
Total			4	1.00

Tabla A.21 Criterio evitar la resuspensión del material sedimentado frente a las alternativas de solución 3-4 [Elaboración propia]

Evitar la re suspensión del material sedimentado	Alternativa 3	Alternativa 4	Puntuación	Ponderación
Alternativa 3	1	0.5	1.5	0.50
Alternativa 4	0.5	1	1.5	0.50
Total			3	1.00

**Tabla A.22 Criterio Calidad de producción frente a las alternativas de solución 3-4.
[Elaboración propia]**

Calidad de producción	Alternativa 3	Alternativa 4	Puntuación	Ponderación
Alternativa 3	1	0.5	1.5	0.50
Alternativa 4	0.5	1	1.5	0.50
Total			3.0	1.00

**Tabla A.23 Criterio “Facilidad de operación” frente a las alternativas de solución 3-4
[Elaboración propia]**

Facilidad de operación	Alternativa 3	Alternativa 4	Puntuación	Ponderación
Alternativa 3	1	1	2	0.57
Alternativa 4	0.5	1	1.5	0.43
Total			3.5	1.00

Tabla A.24 Criterio "Uso de partes y estándares" frente a las alternativas de solución 3-4 [Elaboración propia]

Uso de partes y estándares	Alternativa 3	Alternativa 4	Puntuación	Ponderación
Alternativa 3	1	0	1	0.33
Alternativa 4	1	1	2	0.67
Total			3	1.00

Tabla A.25 Criterio "Reanudar la actividad filtradora" frente a las alternativas de solución 3-4 [Elaboración propia]

Reanudar la actividad filtradora	Alternativa 3	Alternativa 4	Puntuación	Ponderación
Alternativa 3	1	0.5	1.5	0.50
Alternativa 4	0.5	1	1.5	0.50
Total			3.0	1.00

APÉNDICE B. Cálculos para selección de equipos y mantenimiento del sistema

Tabla B.1 Cargas máximas estipuladas para sistemas de diseño estándar

Tipo de sistema	Mejillón	Berbechero	Ostra	Almeja	Chirla mercenaria	Navaja
Pequeña escala 550-600 litros	90 kg	30 kg	750	56 kg	72 kg	40 kg
Media escala 2000-2500 litros	750 kg	110 kg	4150	500 kg	650 kg	145 kg
Gran escala 4000-4500 litros	1500 kg	220 kg	12000	1000 kg	1300 kg	290 kg
Contenedor 1100 litros	300 kg	---	---	---	---	---
Pila vertical 650 litros sumidero total 16 cajas	240 kg	80 kg	2000	168 kg	216 kg	105 kg
Media escala 2000-2500 litros	750 kg	110 kg	4150	500 kg	650 kg	145 kg
Gran escala 4000-4500 litros	1500 kg	220 kg	12000	1000 kg	1300 kg	290 kg
Contenedor 1100 litros	300 kg	---	---	---	---	---
Pila vertical 650 litros sumidero total 16 cajas	240 kg	80 kg	2000	168 kg	216 kg	105 kg

Nota: Tomada de: Depuración de bivalvos aspectos fundamentales y prácticos, por L. Ronald, A. Lovatelli, L. Ababouch, 2010. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

B.1 Cálculos de capacidad del sistema de depuración.

La capacidad del tanque se halló mediante la siguiente ecuación que fue dado a partir de la normativa española (Galicia, 2014).

$$C = \frac{(Ax B)}{2} \quad (B. 1)$$

Siendo A la cifra en metros cuadrados para depurar, y B la carga en Kg por metro cuadrado autorizados. Según la normativa española el sistema a depurar no puede sobrepasar los $30 \frac{kg}{m^2}$. Cada gaveta tiene un área de $0.23 m^2$ y como están apiladas en dos columnas de tres filas da un valor de $1.38 m^2$ que es menor al valor calculado por normativa y por ende el sistema es apto para la depuración.

Por lo tanto, para el caso de la especie de molusco mejillón, cuya capacidad a depurar es de 90 kg y este tiene un tamaño promedio ideal para su comercialización de es 7 a 10 cm (Mercasa, 2021) se pudo realizar los posteriores cálculos.

Para la capacidad de la depuradora se utilizó la ecuación B.1 y reemplazando los datos se despejó el área pertinente para la depuración.

$$C = \frac{(A \times B)}{2}$$

$$C = \frac{2 * 90[kg]}{30[\frac{kg}{m^2}]}$$

$$C = 6m^2$$

Por lo tanto para el respectivo sistema de depuración el área para depurar debe ser menor a este valor si es mayor se corre el riesgo que los moluscos se contaminen por las ejes de los vecinos a ellos.

Se obtuvo las siguientes expresiones para hallar el número de individuos a depurar.

$$N_1 = \frac{L_g}{T_c} \tag{B. 2}$$

$$N_2 = \frac{A_g}{T_c} \tag{B. 3}$$

$$N_t = N_1 \times N_2 \tag{B. 4}$$

$$N_{sistema} = N_t \times N_{gavetas} \tag{B. 5}$$

$$M_{total} = M_{Tc} \times N_{sistema} \tag{B. 6}$$

Donde:

N_1 : Número de individuos en el contorno largo de la gaveta

N_2 : Número de individuos en el contorno ancho de la gaveta.

T_c : Talla de comercialización [m]

L_g : Largo de la gaveta [m]

A_g : Ancho de la gaveta [m]

N_t : Número total de individuos por gaveta a una sola capa.

$N_{sistema}$: Número de mejillones del sistema

$N_{gavetas}$: Número de gavetas del sistema.

M_{total} : Masa total del sistema [kg]

M_{Tc} : Masa de la talla de comercialización [kg]

Las ecuaciones B.2 hasta la B.6 sirvieron para corroborar los datos de la selección de las gavetas y si el tanque puede soportar las cargas para el caso del mejillón. Sabiendo que la capacidad máxima para depurar fue de 90 kg.

Por lo tanto, con los datos de la tabla 3.2 se reemplazaron en las ecuaciones B.2 hasta la B.6.

$$N_1 = \frac{L_g}{T_c}$$

$$N_1 = \frac{0.58 [m]}{0.07 [m]} = 8$$

$$N_2 = \frac{0.41 [m]}{0.07 [m]} = 6$$

$$N_t = 8 * 6 = 48$$

Como N_t fue un valor para una sola capa de mejillones, cada mejillón pesó aproximadamente 0.038Kg tomando como referencia que en un kilogramo de mejillón hubo cerca de 25-27 piezas lo cual se escogió el promedio de este valor lo cual dio un valor de 26 piezas por kilogramo (Mercasa, 2021) . Con este dato puedo hallar el peso de los 48 mejillones lo cual dio un valor de 1.92 Kg y como la gaveta estuvo diseñada para cargas de 15 Kg se dividió este valor para 1.92 Kg dando como resultado $7.81 \approx 8$ lo cual significó que se necesitaron 7 capas más para llenar la gaveta de mejillones y así llegar a los 15 kg.

Por lo tanto, el número total de individuos del sistema $N_{sistema}$ con carga llena en sus seis gavetas fue de:

$$N_{sistema} = N_t \times N_{gavetas}$$

$$N_{sistema} = 8 * 48 * 6 = 2304 \text{ individuos}$$

Y la masa total del sistema estuvo dado por:

$$M_{total} = 0.04 \times 2304 \text{ individuos}$$

$$M_{total} = 87.55 \text{ kg}$$

B.2 Cálculos para el dimensionamiento del tanque de depuración.

Para el sistema de depuración se debió dejar un espaciado de 12 cm de altura para que los sedimentos reposen en el fondo del tanque sin que se recontamine el molusco. Por lo tanto, la altura que se obtuvo fue calculada con la suma del emparrillado, más las alturas de las gavetas y la altura de la columna de agua que se tiene contando desde la última gaveta y la superficie del líquido.

Esta suma dio valor de 60.5 cm y los datos de largo y ancho del tanque se dio en base a la disposición de las gavetas los cual debieron estar en dos columnas de 3 filas por lo tanto para el largo se lo calculó con la suma del ancho de dos gavetas más el espaciado correspondiente entre columnas y paredes del tanque. Lo cual dio un valor de 97 cm respectivamente. El ancho del tanque fue obtenido por la disposición del largo de la gaveta lo cual 58 cm y se dejó un espaciado entre paredes para que el agua pueda recircular sin impedimentos lo cual fue de 7.5 cm por cada lado lo cual dio 73.50 cm.

B.3 Selección de los diámetros de tuberías.

Tabla B.2 Datos de entrada para cálculo en sistemas de tuberías

Tabla de datos conocidos	
Temperatura del agua	30°C
Densidad del agua salada	1022 $\frac{kg}{m^3}$
Viscosidad cinemática	0.946 $\times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$
Presión atmosférica	101.3 kPa
Gravedad	9.8 $\frac{m}{s^2}$
Caudal requerido	3.33 $\times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

Análisis

Se aplicó la ecuación de energía para el caso estacionario en su forma de cargas a partir del punto 1 en la región del tanque descubierto en el laboratorio hasta el punto 2 a la salida del aspersor como se puede mostrar en la Figura B.1.

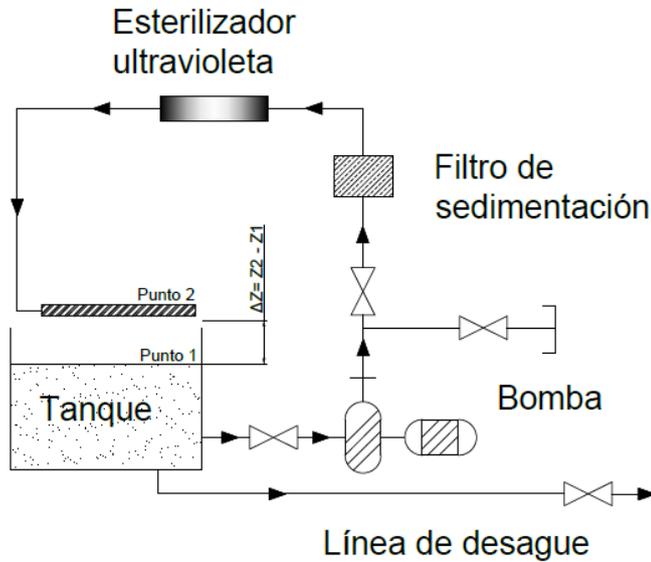


Figura B.1 Sistema de recirculación para análisis de selección de bombas [Elaboración propia]

Por lo tanto, ecuación de energía viene dado de la siguiente manera.

$$H_{necesario} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + h_{L, Total} \quad (B. 7)$$

Donde:

P_2 : es la presión en el aspersor [kPa]

P_1 : es la presión en el depósito [kPa]

ρ : Densidad del agua de mar [$\frac{kg}{m^3}$]

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

Z_2 : Es la posición en el aspersor [m]

Z_1 : Es la posición en el tanque [m]

$h_{L, Total}$: Pérdidas en las tuberías juntas con sus accesorios [m]

$H_{necesario}$: Es la altura necesaria del sistema [m]

De esta ecuación se pueden tener las siguientes observaciones.

Se puede ignorar la velocidad del tanque, en el punto 1.

El punto 1 es igual a P_{atm} y en el punto 2 también es igual a P_{atm} .

α_2 y α_1 se asumen con el valor de la unidad. (White, 2004)

Por lo tanto, los términos de presión se cancelan y la ecuación se reduce.

$$H_{necesario} = \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{L, Total} + (Z_2 - Z_1) \quad (B. 8)$$

La pérdida de carga total en la ecuación anterior es una combinación de las pérdidas mayores y menores y depende del gasto volumétrico.

$$h_{L, Total} = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{V^2}{2g} \quad (B. 9)$$

Donde:

f : Es el factor de fricción

L : Es la longitud de la tubería [m]

D : Es el diámetro de la tubería [m]

K_L : Es el coeficiente de pérdidas por accesorios.

De esta ecuación aún no se conocen los diámetros en la succión y en la impulsión de la bomba y los diámetros de las líneas de la conducción del fluido.

B.4 Cálculo de los diámetros de las tuberías.

Para hallar los diámetros de las tuberías pertinentes se tomó como referencia los valores de velocidad referenciales para el tipo de flujo en un circuito hidráulico. (Warren, Julian, & Harriot, 2007)

Tabla B.3 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 bomba	0.30-0.90
	Salida de bomba	1.20-3
	Línea de conducción	1.20-2.40

Nota: Tomada de: Operaciones Unitarias en ingeniería química, por L. Warren, C. Julian, P. Harriot 2007. México, McGraw –Hill Companies. Inc. All rights reserved. ISBN: 0-07-284823-5

Por lo tanto, para hallar el diámetro en la succión se utilizó la ecuación de continuidad y seleccionando una velocidad de 0.4 m/s.

$$D_{succión} = \sqrt{\frac{4Q_{sistema}}{\pi * V}} \quad (B. 10)$$

Donde:

$Q_{sistema}$: Es el caudal del sistema [$\frac{m^3}{s}$]

$D_{succión}$: Diámetro en la succión [m]

Por lo tanto,

$$D_{succión} = \sqrt{\frac{4 * 3.33 \times 10^{-4}}{\pi * (0.40)}}$$

$$D_{succión} = 32.65 \text{ mm}$$

Para hallar el diámetro de la impulsión se utilizó la ecuación de Bresse la cual relaciona las horas de trabajo de las bombas y el caudal requerido para el sistema (Salvador, 2004).

$$D_{Impulsión} = K_3 \left(\frac{Hrs_{trabajo}}{24} \right)^{0.25} \sqrt{Q_{sistema}} \quad (B. 11)$$

Donde:

$D_{Impulsión}$: Diámetro en la línea de la impulsión [m]

k_3 : Coeficiente de Bresse con valor de 1.3

$Hrs_{trabajo}$: Numero de horas de bombeo

Para este valor se asume que la velocidad del fluido debe estar en 1 m/s como se muestra en la tabla B2 para el tipo de fluido de impulsión y valor de K de 1.3. (Por lo general este valor siempre se encuentra $1.1 < K_3 < 1.5$).

$$D_{impulsión} = 1.3 \left(\frac{42}{24} \right)^{0.25} \sqrt{3.33 \times 10^{-4}}$$

$$D_{impulsión} = 27.29 \text{ mm}$$

Por lo tanto los diámetros comerciales correspondientes según la norma INEN 1373 para tuberías PVC de presión con su respectivo espesor fueron:

Tabla B. 4 Diámetros comerciales para tuberías de PVC.

Diámetro teórico [mm]	Diámetro comercial [mm]	Espesor [mm]	Presión nominal [MPa]
32.55	40	1.9	1.25
27.29	32	1.9	1.60

Nota: Adaptada de: TUBERÍA PLÁSTICA TUBOS Y ACCESORIOS DE PVC RÍGIDO PARA PRESIÓN. REQUISITOS, por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, Quito-Ecuador,

Para el caso de la impulsión se revisó el caudal ajustado puesto que la selección del diámetro de la impulsión se encuentra en el rango de $1.20 < V < 2.40$ [m/s] respectivamente por lo tanto el caudal ajustado para el Sistema tuvo el siguiente valor:

$$Q_{ajustado} = A_{tuberia\ de\ impulsión} V_{seleccionada}$$

$$Q_{ajustado} = \frac{\pi D_{impulsión}^2}{4} V_{seleccionada}$$

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

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

Régimen Hidráulico.

El número de Reynolds varía con el gasto volumétrico. En el caudal mínimo necesario, la velocidad del agua por la tubería es $V=1$ m/s y su número de Reynolds fue:

$$Re = \frac{4Q_{ajustado}}{\nu \pi D_{impulsión}} \quad (B. 12)$$

Donde:

ν : Es la viscosidad cinemática $\frac{m^2}{s}$

$$Re = \frac{4 * 8.04 \times 10^{-4}}{0.946 \times 10^{-6} * \pi * 0.032}$$

$$Re = 33816$$

A partir del diagrama de Moody (o de la ecuación de Haaland), con el número de Reynolds y el factor de rugosidad para el caso de una tubería de PVC escogido de la tabla B.5 para tubo plástico con una rugosidad de $\epsilon = 0.0015$ se obtuvo el siguiente valor:

$$\frac{\epsilon}{D_{impulsión}} = \frac{0.0015 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0.000047$$

Tabla B. 5 Valores recomendados de rugosidad para conductos comerciales.
[Elaboración propia]

ϵ				
Material	Condición	ft	mm	Incertidumbre, %
Latón	Laminado Nuevo	0.000007	0.002	± 50
Plástico	Tubo Laminado	0.000005	0.0015	± 60
Vidrio	---	Liso	Liso	---
Caucho	Liso	0.000033	0.01	± 60

Nota: Adaptada de: MECÁNICA DE FLUIDOS, por F White, 2004, Editorial Mc-Graw Hill, Quinta edición, p, 365. Copyright 2003 por Mc Graw –Hill, Inc.

El factor de fricción correspondiente mediante la expresión alternativa proporcionada por Haaland (Çengel & Cimbala, 2018):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon / D_{conduccion}}{3.7} \right)^{1.11} \right] \quad (\text{B. 13})$$

Reemplazando,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log \left[\frac{6.9}{33816.21} + \left(\frac{0.000046}{3.7} \right)^{1.11} \right]$$

$$f = 0.023$$

Con este dato se calculó las pérdidas en tuberías, pero solo en los tramos donde la tubería fue de 32 mm en la Tabla B.6 se aprecia las líneas de conducción y que diámetro tuvieron esto con la finalidad de tener un orden para los cálculos.

Tabla B.6 Líneas de conducción con sus respectivos diámetros. [Elaboración propia]

No. Tramo	Tramo de conducción	Longitud [cm]	Diámetro de conducción [mm]	Accesorios	Cantidad de accesorios	Coefficiente De pérdidas k_f
1	Salida de Tanque entrad de bomba	52	40	Válvula de bola 40mm	1	10.75
				Codo de 90° 40mm	1	0.44
2	Salida de bomba a entrada del filtro	135	32	Válvula check 32mm	1	2.00
				Válvula de bola 32mm parcialmente abierta	1	9.60
				Te pegable 32mm	1	0.23
				Codo 90 ° pegable 32mm	2	0.38
				Reductor de 63 mm a 32 mm	1	0.55
3	Filtro de sedimentos	----	----	----	----	----
4	Salida del filtro a entrada de esterilizador ultravioleta	110	32	Reductor de 63mm a 32mm	1	0.31
				Válvula check 32mm	1	2.00
				Codo 90 ° pegable 32mm	2	0.38
				Reductor de 1 ½" a 32mm	1	0.12
5	Esterilizador UV	72	50	----	----	----
6	Salida del esterilizador UV hacia la aspersión	199	32	Reductor de 1 ½" a 32 mm	1	0.29
				Codo 90 ° pegable 32 mm	5	0.38

Nota: los factores correspondientes a pérdidas menores se escogieron en base a los criterios establecidos por el libro Mecánica de Fluidos de Frank M. White (2004), Flujo viscoso en tuberías, McGraw-Hill, 5 ed., pp. 382-389.

A partir de este punto para encontrar todas las pérdidas por tuberías en tramos que se presentaron en la Tabla B.6. Se asumirán ciertas condiciones para los posteriores cálculos. El filtro seleccionado fue puesto en marcha y se midió la respectiva presión en la entrada del filtro y a la salida del filtro lo cual dio un valor de $\Delta P=0.3$ bar

El esterilizador ultravioleta es una lámpara en su interior que irradia una longitud de onda de 260 nm siendo, este el valor más eficaz para eliminar virus y bacterias. Por lo tanto se asumirá que el esterilizador es un tubo de vidrio (fabricado de cuarzo) con este dato se pudo hallar el factor de fricción respectivamente cuyo valor fue de 0.023 idéntico como si fuera tuberías PVC. Para el caudal modificado respectivamente, este se mantiene en todos los tramos de la tubería. Se consideraron los coeficientes de pérdidas a la entrada de la tubería de succión y los accesorios necesarios en todas las líneas de conducción de agua.

Tabla B.7 Pérdidas de carga por línea de conducción.

No. de tramo	Reynolds	Coefficiente de fricción	Pérdidas por carga [m]
1	1.69x10 ⁴	0.027	0.0029
2	3.38x10 ⁴	0.023	0.0489
3	----	-----	3.0000
4	3.38x10 ⁴	0.023	0.0399
5	2.16x10 ⁴	0.025	0.0033
6	3.38x10 ⁴	0.023	0.0721
Total			3.1671

Nota: La línea 3 tuvo una pérdida por carga de 3.00 m lo cual fue calculado experimentalmente por los valores que marcaron los manómetros y mediante la expresión $\Delta p = \rho_{fluido} g h_{L,3}$ y $\Delta P = 0.3 \text{ bar} = 4.35 \text{ psi}$ lo cual dio como resultado 3.00 m.

Tabla B.8 Valor de las pérdidas menores por línea de conducción

No. Tramo	Velocidad del flujo [m/s]	Coefficiente de pérdidas [k]	Pérdida menor [m]
1	0.409	12.19	0.10
2	1.000	13.14	0.67
3	1.000	----	----
4	1.000	3.19	0.16
5	0.409	----	----
6	1.000	2.19	0.11
Total		30.71	1.04

Nota: Los valores presentados mostraron una pérdida menor de 1.04m lo cual se tradujo a pérdidas por válvulas, codos y demás accesorios en las líneas correspondientes.

Por lo tanto, la pérdida total para el caso a estudio fue:

$$h_{L, Total} = 3.1671 + 1.0400$$

$$h_{L, Total} = 4.21 [m]$$

Por lo tanto, la altura necesaria fue de:

$$H_{necesario} = \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{L, Total} + (Z_2 - Z_1)$$

$$H_{necesario} = \frac{\left(1 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} + 4.21 m + (0.16m)$$

$$H_{necesario} = 4.42 [m \text{ de agua}]$$

En esta etapa se obtuvo una situación común al seleccionar una bomba poco más potente que la que en realidad se necesitaba. El gasto volumétrico a través del sistema de depuración es poco más grande que el necesario, por lo que se instaló una válvula en la línea de conducción a la salida de la bomba, de modo que se pudiera disminuir cuando se necesite.

B.5 Potencia de la bomba de recirculación.

La carga hidrostática neta proporcional a la potencia útil entregada al fluido. La potencia hidráulica es la potencia útil y viene dada por la siguiente expresión.

$$W_{potencia, \text{útil}} = \rho g Q_{ajustado} H_{necesario} \quad (B. 14)$$

Reemplazando datos se obtuvo lo siguiente:

$$W_{potencia, \text{útil}} = 1022 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 8.04x10^{-4} \frac{m^3}{s} * 4.42 m. \text{ c. a.}$$

$$W_{potencia, \text{útil}} = 35.59 \approx 36 W = 0.048 HP$$

Las bombas sin excluir a ninguna sufren pérdidas irreversibles a causa de la fricción, fugas internas, separación del flujo en la superficie de los álabes, disipación turbulenta entre otras.

B.6 Dimensionamiento de las tuberías de desagüe.

Para hallar las tuberías de desagüe se utilizó las ecuaciones de Swamee y Jain quienes propusieron la siguiente relación explícita (Çengel & Cimbala, 2018), que fueron precisas hasta 2 por ciento del diagrama de Moody.

$$D = 0.66 \left[\varepsilon^{1.25} \left(\frac{LQ^2}{gh_L} \right)^{4.75} + \nu Q^{9.4} \left(\frac{L}{gh_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad \begin{array}{l} 10^{-6} < \frac{\varepsilon}{D} < 10^{-2} \\ 5000 < Re < 3 \times 10^8 \end{array} \quad (\text{B. 15})$$

Por lo tanto, se partirá de la Figura B.2 aplicando la ecuación de Bernoulli para hallar las pérdidas en las tuberías con los datos que se tuvieron de la geometría del sistema.

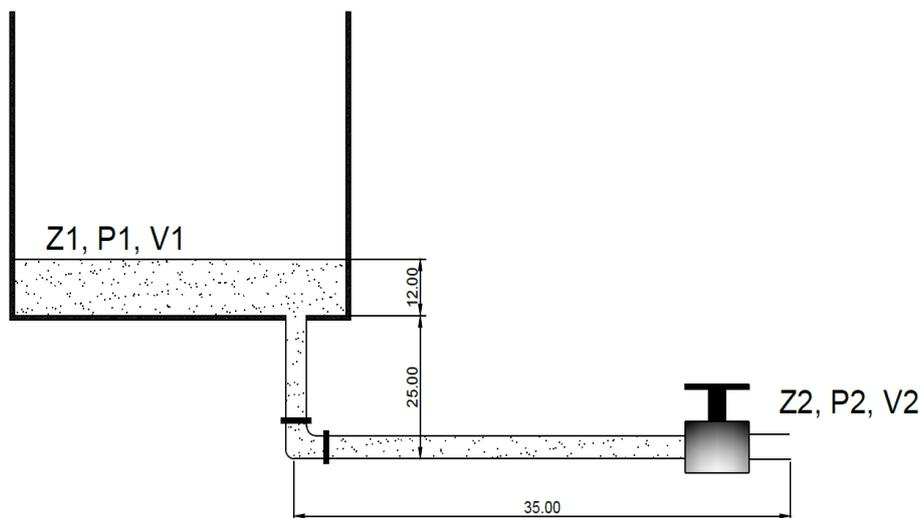


Figura B.2 Geometría de la línea de desagüe.

Para este análisis se partió de la hipótesis que el flujo era estacionario e incompresible, los efectos de entrada fueron despreciables y por lo tanto el flujo estuvo totalmente desarrollado, la elevación de los depósitos permaneció constante y el flujo a través de la tubería era turbulento.

Este tipo de problema no se pudo resolver directamente porque no se conocen las velocidades (o razones de flujo) en las tuberías. Por lo tanto, se utilizó la expresión antes mencionada Swamee y Jain para hallar el diámetro óptimo del desagüe.

Se partió con una velocidad estimada en base a la Tabla B.3 con una velocidad por caída de gravedad de 0.15-0.30 [m/s] por lo tanto se escogió una velocidad promedio de 0.225 [m/s] por lo tanto, de la ecuación de la energía se obtuvo:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_{L,total} \quad (\text{B. 16})$$

Se eligieron los puntos 1 y 2 en las superficies libres del depósito, cuando se notó que el fluido en ambos puntos estuvo abiertos a la atmosfera (y por lo tanto P_1 y P_2 son iguales a P_{atm} y la velocidad del fluido en el depósito fue cero. ($v_1 = 0$ m/s). Entonces, la ecuación de energía entre estos dos puntos se reduce a:

$$(z_1 - z_2) - \frac{v_2^2}{2g} = h_{L,total} \quad (\text{B. 17})$$

Reemplazando datos se obtiene las pérdidas totales en la tubería:

$$0.37 - \frac{(0.225 \text{ m/s})^2}{1022 \text{ kg/m}^3} = h_{L,total}$$

$$h_{L,total} = 0.37 \text{ m}$$

Pero la pérdida total también pudo ser calculada con la siguiente expresión: Para hallar el caudal necesario para la línea de desagüe se optó por hallar el volumen confinado de los sedimentos con ayuda de la geometría del tanque y la velocidad estimada.

$$H_{sedimentos} L_{tanque} A_{tanque} = V_{tanque} \quad (\text{B. 18})$$

$$0.12 \text{ m} * 0.73 \text{ m} * 0.97 \text{ m} = 0.0849 \text{ m}^3$$

Se asume que el depósito se vaciará en 120 segundos por lo tanto el caudal estará dado por:

$$Q_{Tanque} = \frac{V_{tanque}}{t}$$

$$Q_{Tanque} = \frac{0.0849m^3}{120s} = 0.001415 \frac{m^3}{s}$$

Para hallar el diámetro óptimo se utilizó la siguiente expresión:

$$D = 0.66 \left[\varepsilon^{1.25} \left(\frac{LQ^2}{gh_L} \right)^{4.75} + \nu Q^{9.4} \left(\frac{L}{gh_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D_{desague} = 0.66 \left[0.015^{1.25} \left(\frac{0.60m * (0.00141 \frac{m^3}{s})^2}{9.8 \frac{m}{s^2} * 0.37m} \right)^{4.75} + 0.946 \times 10^{-6} * 0.00141^{9.4} \left(\frac{0.60m}{9.8 \frac{m}{s^2} * 0.37m} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D_{desague} = 0.031m = 31 mm$$

Lo cual sería un diámetro comercial de 32mm pegable para la descarga de las estaciones.

Para corroborar el dato obtenido del diámetro se calculó el número de Reynolds y verificar si se encontró en el régimen turbulento, lo cual dio un valor de 7611 lo cual estuvo dentro del rango.

B.7 Cavitación de la bomba y la carga de aspiración neta positiva.

Como el líquido que se bombeo fue agua salada fue muy probable que la presión local dentro de la bomba caiga por debajo de la presión de vapor del líquido P_v o también llamado presión de saturación, Si $P < P_v$, se pudieron producir burbujas llenas de vapor, para verificar esto se utilizó la siguiente expresión:

Donde:

$$NPSH: \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \right)_{entrada\ de\ la\ bomba} - \frac{P_v}{\rho g} \quad (B. 19)$$

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

P_v : Presión de saturación [KPa]

ρ : Densidad del líquido a trabajar [$\frac{kg}{m^3}$]

v : Velocidad el fluido [m/s]

g : Gravedad [m/s^2]

Por lo tanto, en la Figura B.3, describe el sistema y los puntos que se escogieron para el análisis de la carga de aspiración neta positiva.

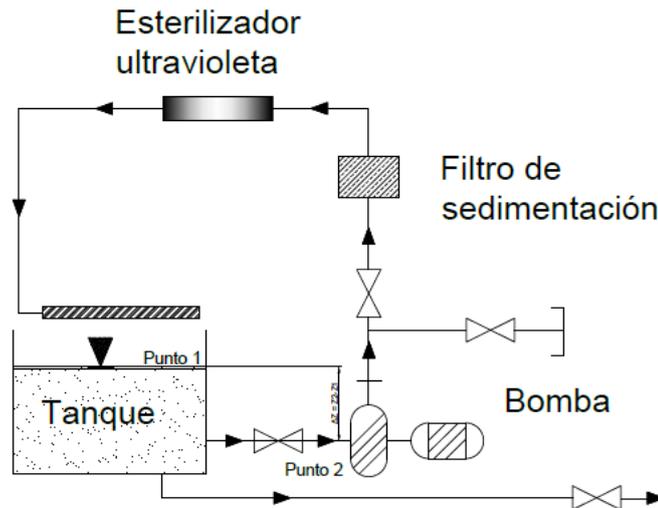


Figura B.3 Diagrama para el análisis de la carga de aspiración neta positiva

Se aplicó la ecuación de energía para el caso del flujo estacionario en la forma de las cargas a lo largo de una línea de corriente desde el punto 1 en la superficie del depósito hasta el punto 2 de la entrada de la bomba:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{\rho g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{\rho g} + z_2 + h_{L, total}$$

De esta ecuación se ignoró la velocidad del agua en la superficie del depósito, aunque hay una bomba en el sistema, no hay bomba entre los puntos 1 y 2; por lo tanto, el término de la carga hidrostática de la bomba se eliminó.

La expresión antes mencionada se despejó el término $\frac{P_2}{\rho g}$.

Carga de presión en la entrada de la bomba:

$$\frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} + (z_1 - z_2) - \frac{v_2^2}{\rho g} - h_{L, total}$$

Se tomó en cuenta que el depósito estuvo abierto en el punto 1 por lo tanto $P_1 = P_{atm}$. La carga de aspiración neta positiva disponible en la entrada de la bomba se obtuvo sustituyendo NPSH en la ecuación de Bernoulli obteniendo la siguiente expresión:

$$NPSH = \frac{P_{atm} - P_v}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) - h_{L, total}$$

Reemplazando datos sabiendo que $P_{atm} = 101.325 \text{ kPa}$ y P_v para agua salada a 30°C fue de 4.8 kPa y $(Z_1 - Z_2) = 0.46\text{m}$ y $h_{L, total} = 0.1029$ valor que se obtuvo de la tabla C.7 y C.8 para pérdidas en el tramo 1 (salida del tanque a entrada a la bomba).

$$NPSH = 0.36 \text{ m} = 366.73\text{mm}$$

Es un valor bajo en comparación de las NPSH requeridos en los sistemas de bombas por lo tanto no hay que preocuparse por la cavitación en el sistema de depuración.

Cálculo para hallar el volumen de agua de circulación en filtros.

Para este cálculo se partió del caudal de operación para el cual fue de 20 L/min . Por lo tanto, si el volumen a trabajar fue de 430 litros para el primer experimento.

Para hallar el tiempo que demoró en vaciarse se utilizó la siguiente expresión.

$$Q_{sistema} = \frac{V_{sistema}}{t_{vaciado}}$$

Donde:

$Q_{sistema}$: Caudal del sistema o de operación en 20 [L/min]

$V_{sistema}$: Volumen del sistema o volumen de control $[m^3/s]$

$t_{vaciado}$: Tiempo necesario para vaciado del tanque $[s]$

Reemplazando los datos se obtuvo:

$$20L/min = \frac{430L}{t}$$

$$t = 21.50 \text{ min}$$

Por lo tanto, el sistema estuvo recirculando agua salada constantemente en 42 horas (2520min) y el número de veces que se lo realizó en este periodo de tiempo fue de:

$$\#llenado = \frac{2520}{21.50} = 117$$

Por lo tanto la cantidad de fluido que atravesó el filtro, fue la cantidad de veces que se llenó el tanque lo cual fue:

$$\text{Capacidad del filtro} = \#llenado \times V_{sistema}$$

$$\text{Capacidad del filtro} = 50310 \text{ litros} = 13290.50 \text{ gal}$$

Por lo tanto con este dato se propuso la búsqueda del filtro para sedimentos.

La Tabla B.9 muestra la mayoría de los microorganismos que están ligados a los moluscos bivalvos y los cuales el esterilizador ultravioleta debe eliminar en su mayoría.

Tabla B.9 Causas microbianas de enfermedades asociadas a los moluscos bivalvos

Microorganismo	Periodo de incubación	Duración	Cuadro clínico	Fuente principal de contaminación de moluscos
Bacterias				
Salmonella typhi y S. paratyphi	Typhi: 1-3 semanas Paratyphi: 1-10 días Otra fuente: 7 a 28 días, Media 14 días	Typhi: hasta 4 semanas Paratyphi: 2-3 semanas	Malestar, dolor de cabeza, fiebre, tos, náuseas, vómitos, estreñimiento, dolor abdominal, escalofríos, erupción cutánea, sangre en heces	Heces humanas/ aguas residuales
Otras Salmonella	6 a 72 horas, media 18 a 36 horas	4-7 días	Dolor abdominal, diarrea, escalofríos, fiebre, náuseas, vómitos, malestar	Heces humanas/ aguas residuales o estiércol de aves/ purines

Campylobacter	2 a 7 días	3 – 6 días	Diarrea (a menudo con sangre), fuerte dolor abdominal, fiebre, anorexia, malestar, dolor de cabeza vómitos	Estiércol de animales o aves purines)
Shigella	24 a 72 horas	5-7 días	Dolor abdominal, diarrea sangre y mucosa en heces. fiebre	Heces humanas/ aguas residuales
Vibrio parahaemolyticus	2 a 48 horas Media 12 horas	2 – 14 días (media 2.5)	Dolor abdominal, diarrea, náuseas vómitos,, fiebre, escalofríos, dolor de cabeza	Medio marino
Vibrio vulnificus	16 horas media < 24 horas	2-3 días	Malestar, escalofríos, fiebre postración, lesiones cutáneas, mortalidad	Medio marino
Vibrio cholerae Serotipos O1 y O139	1-5 días normalmente 2-3 días	2-5 días	Diarrea abundante y acuosa heces en agua de arroz vómitos, dolor abdominal, deshidratación.	Heces humanas / aguas residuales
Vibrio cholerae no – O1/no O139	2-3 días	Hasta 1 semana	Diarrea acuosa (desde heces sueltas a diarrea secretoria)	Medio Marino
Virus				
Norovirus	1-3 días, media 36 horas	20 a 72 horas	Diarrea, nauseas, vómitos, dolor abdominal, calambre abdominal	Heces humanas / aguas residuales
Hepatitis A virus	10 a 50 días Media 25 días	10 a 30 días, 10% de personas infectadas presentarán síntomas prolongados o tendrán recaídas durante un periodo de 6-9 meses	Fiebre, malestar, lasitud, anorexia, nausea, dolor abdominal, ictericia	Heces humanas / aguas residuales
Astrovirus	1 a 2 días	48 a 72 horas	Diarrea, a veces acompañada de uno o más síntomas entéricos	Heces humanas / aguas negras.

Nota: Tomada de: Depuración de bivalvos aspectos fundamentales y prácticos, por L. Ronald, A. Lovatelli, L. Ababouch, 2010, 510 ed., pp.7, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

B.8 Cálculo de la caída de presión y pérdida de carga en el tubo de luz ultravioleta.

Se tuvo agua de mar artificial 30°C cuyas propiedades se mostraron en la Tabla B.2 que fluyó de manera estacionaria a través del esterilizador ultravioleta cuya geometría se puede observar en la Tabla B.10:

Tabla B.10 Geometría de la luz ultravioleta [Elaboración propia]

$D_{Conducción}$	0.050 m
L_{UV}	0.760 m
A_{UV}	0.002 m ²
$Q_{maximo\ permitido\ UV}$	$2.8 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$

En el interior del tubo el fluido viajó a:

$$\frac{Q_{maximo\ permitido\ UV}}{A_{UV}} = V_{Fluido}$$

$$\frac{2.8 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{0.002 \text{ m}^2} = 0.14 \frac{m}{s}$$

Se halló el número de Reynolds correspondiente.

$$Re = \frac{V_{Fluido} * D_{Conducción}}{\nu}$$

$$Re = \frac{0.14 \frac{m}{s} * 0.050 \text{ m}}{0.946 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 7399$$

En la Figura B.4 se propuso los puntos para análisis y los cuales ayudaron para hallar la presión interna del esterilizador ultravioleta.

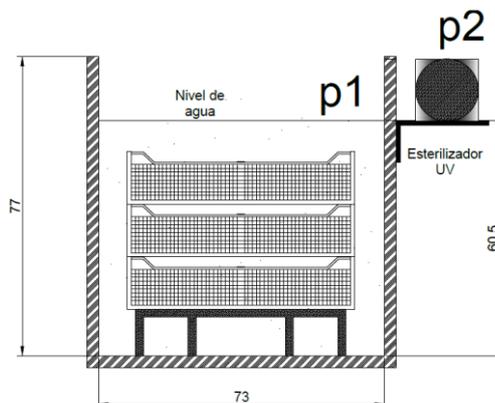


Figura B.4 Diagrama que representó los puntos para análisis y utilizar la ecuación de Bernoulli. [Elaboración propia]

Utilizando la ecuación de Bernoulli buscó la presión en el interior del esterilizador ultravioleta por tanto se obtuvo lo siguiente:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{\rho g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{\rho g} + z_2 + h_{L, Total} + h_{bomba}$$

De la ecuación anterior se buscará p_2 y con esto se pudo hallar la presión en el interior del ultravioleta.

Por lo tanto, los términos que se anularon fueron v_1, z_1, z_2 y la ecuación quedó reducida a la siguiente expresión.

$$\frac{p_2}{\rho g} = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{v_2^2}{2g} - h_{L, Total} - h_{bomba}$$

De esta expresión $p_1 = p_{atm}$ y $v_2^2 = V_{Fluido} = 0.14 \frac{m}{s}$, $h_{L, Total} = 4.05 m$ (Dato obtenido de las Tablas B.7 y B.8 y $h_{bomba} = 4.42m$

Reemplazando se obtuvo lo siguiente:

$$\frac{p_2}{\rho g} = \frac{101.325}{1022 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2}} - \frac{0.14^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} - 4.05m - 4.42m$$

$$\frac{p_2}{\rho g} = 0.01 - 0.001 - 8.47$$

$$p_2 = 84741 Pa = 0.847 Bar = 12.18 Psi$$

Por lo tanto, para el caudal máximo que puede fluir dentro de la lámpara ultravioleta, con los equipos instalados su presión no puede exceder de 12.18 Psi, y en la selección del ultravioleta y en pruebas hidrostáticas de fugas se debió considerar este dato.

Cálculos para la aspersion del sistema de depuración de moluscos bivalvos. Para hallar la velocidad óptima de la aspersion se utilizó la ecuación de continuidad la cual en los puntos antes de la aspersion la cual fue expresada de la siguiente manera

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

La segunda parte de la ecuación puede ser expresada en función del número de orificios que tiene el aspersor sabiendo que el flujo permisible es de $33 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$.

Por lo tanto,

$$A_1V_1 = \#orificios A_2V_2$$

Siendo

A_1 : Área transversal de la tubería [m^2]

A_2 : Área transversal del orificio de aspersión [m^2]

V_1 : Velocidad del flujo a través de la tubería [m/s]

V_2 : Velocidad del flujo a través del orificio [m/s]

Para hallar la velocidad final del fluido que pasa a través del orificio, se halló el área de este, mediante la siguiente expresión:

$$A_2 = \frac{\pi d_{orificio}^2}{4}$$

Donde:

$d_{orificio}$: Diámetro del orificio [m]

Por lo tanto, se escogió el diámetro de brocas que existen en el mercado y en base a esto se calculó la velocidad a través del orificio. En la siguiente tabla se puede observar el diámetro de brocas y la velocidad correspondiente a cada dato para grupos de orificios de 24, 25, 30, 35 y 40 correspondientemente y en la gráfica adjunta el comportamiento de la velocidad en función del diámetro de la broca por cada grupo asignado.

Por lo tanto, se escogió la broca con diámetro de 5mm para perforar la tubería con 24 orificios.

$$33 \times 10^{-5} = 24 * \frac{\pi d_{\text{orificio}}^2}{4} V_2$$

Por lo tanto, despejando la velocidad en el segundo punto se tiene la siguiente expresión:

$$V_2 = \frac{33 \times 10^{-5}}{6\pi * d_{\text{orificio}}^2}$$

$$V_2 = \frac{33 \times 10^{-5}}{6\pi * 0.003^2}$$

$$V_2 = 1.96 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Tabla B.11 Entrada de datos de diámetro de brocas y velocidad de fluidos

Grupo de orificios	24	25	30	35	40
Diámetro de tubería [m]	Velocidad de flujo A [m/s]	Velocidad del flujo B [m/s]	Velocidad del flujo C [m/s]	Velocidad del flujo D [m/s]	Velocidad del flujo E [m/s]
0.003	1.963	1.884	1.570	1.346	1.178
0.004	1.104	1.060	0.883	0.757	0.662
0.005	0.707	0.678	0.565	0.484	0.424
0.006	0.491	0.471	0.393	0.336	0.294
0.007	0.360	0.346	0.288	0.247	0.216
0.008	0.276	0.265	0.221	0.189	0.166
0.009	0.218	0.209	0.174	0.150	0.131
0.01	0.177	0.170	0.141	0.121	0.106

Para el aspersor seleccionado se optó por escoger un aspersor de broca 5 mm con 24 orificios lo cual arrojó datos de oxígeno disuelto 7, 7,6 y 6,8 mg/L con respecto a cada estación de tanque de depuración.

B.9 Cálculos para el emparrillamiento.

La armadura estuvo soportando el peso de las 6 gavetas llenas menos la fuerza de empuje que se generara debido a que estarán sumergidas

totalmente en el fluido. Por lo que, considerando el volumen de las gavetas igual a 4.4 dm^3 y la densidad del fluido igual a 1022 Kg/m^3 la carga total será:

$$P = 6(mg - \rho_f g \forall) \quad (\text{B. 20})$$

Donde:

m : Es la masa de una de las gavetas más los moluscos [Kg]

g : Gravedad [m/s^2]

ρ_f : Densidad del fluido $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

\forall : Volumen de las gavetas [m^3]

Reemplazando se obtuvo:

$$P = (6)(9.81)(15 \text{ kg} - (1022 \text{ Kg/m}^3)(4.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3))$$
$$P = 618.22 \text{ N}$$

Con este valor se elaboró una simulación para analizar los esfuerzos a los que estaría sometida la armadura y así determinar si el material sería capaz de soportar la carga. Para esto se hizo uso del software de análisis estructural Etabs que nos muestra los diagramas de fuerzas cortantes y momento flector en los distintos elementos de la armadura. En las Figuras B.5, B.6, y B.7 se pueden apreciar las etapas del análisis estructural.

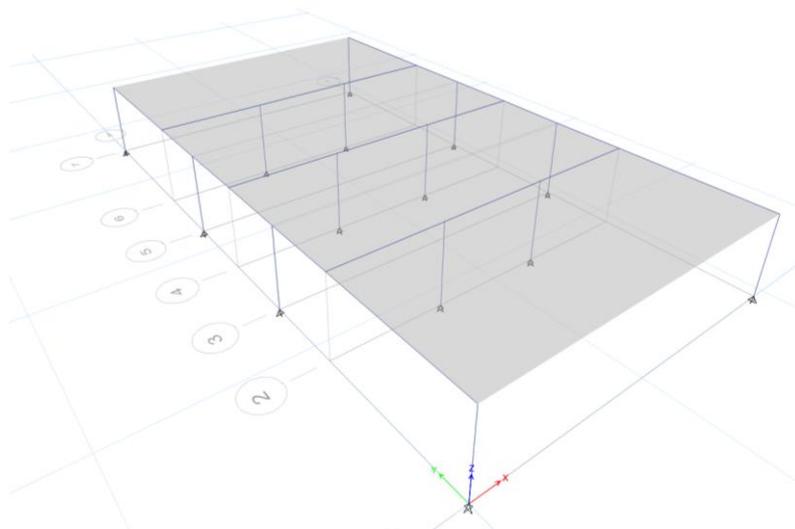


Figura B.5 Forma del mallado para cálculos de momentos y esfuerzos cortantes
[Elaboración propia]

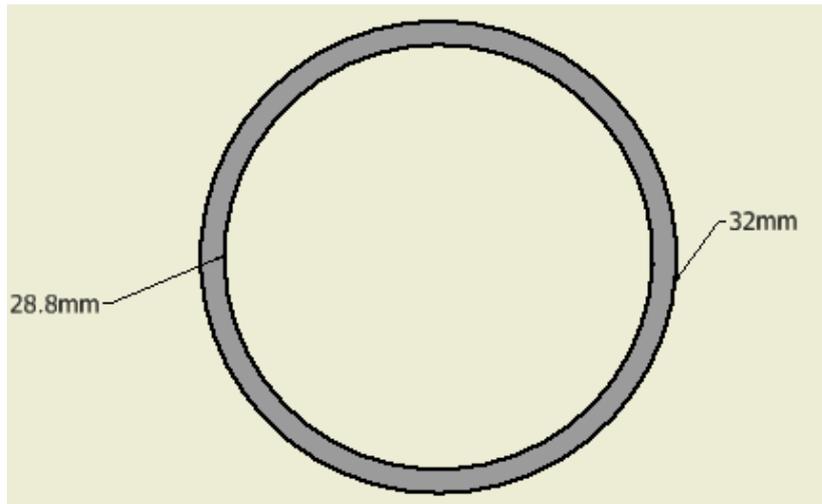


Figura B.8 Dimensiones de los tubos PVC. [Elaboración propia]

Se utilizó una tubería de PVC de 32 mm con un espesor de 1.6 mm, siendo las propiedades geométricas de la sección:

El área,

$$A = \pi(C_o^2 - C_i^2)$$

Donde

C_o^2 : Es el radio mayor de la circunferencia [m]

C_i^2 : Es el radio menor de la circunferencia [m]

$$A = \pi((16mm)^2 - (14.4mm)^2)$$

$$A = 152.81mm^2$$

La inercia,

$$I = \frac{\pi}{4}(C_o^4 - C_i^4)$$

$$I = \frac{\pi}{4}((16mm)^4 - (14.4mm)^4)$$

$$I = 1.770 \times 10^4 mm^4$$

El momento del área A con respecto al eje neutro,

$$Q = \sum A' \bar{z}$$

$$Q = \left(\frac{\pi C_0^2}{2}\right)\left(\frac{4C_0}{3\pi}\right) - \left(\frac{\pi C_i^2}{2}\right)\left(\frac{4C_i}{3\pi}\right)$$

$$Q = \frac{2}{3}(C_0^3 - C_i^3)$$

$$Q = \frac{2}{3}((16mm)^3 - (14.4mm)^3)$$

$$Q = 740.01mm^3$$

Con los datos del perfil podemos obtener el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo cortante máximo (G. Budynas & Keith, 2008) al que estarán sometidas las tuberías, evaluando en los puntos donde el momento flector y la fuerza cortante hayan sido máximos. Haciendo uso de las siguientes ecuaciones se elaboró una tabla para las tuberías que presentaron los valores críticos.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

Donde τ_{max} es el esfuerzo cortante máximo.

Según la teoría del esfuerzo cortante máximo tendremos un factor de seguridad de:

$$\eta = \frac{S_y/2}{\tau_{max}}$$

$$\eta = \frac{8894.24kPa/2}{455.86kPa}$$

$$\eta = 9.75$$

B.10 Cálculos para soporte ultravioleta.

Se procedió a calcular el valor de masa de agua para así determinar el peso que soportaran las vigas, resistiendo cada una un tercio del peso total. En la Figura B.9 se puede apreciar la forma del tubo UV.

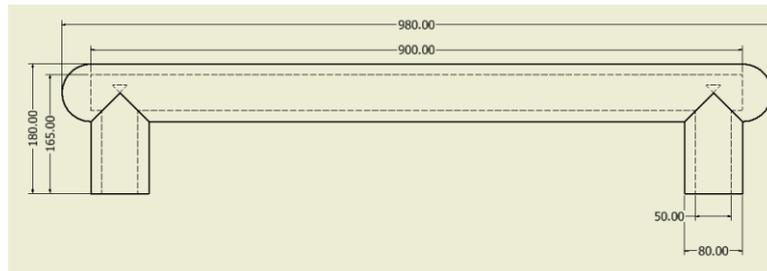


Figura B.9 Esquema de lámpara de UV debidamente dimensionada.

La masa de agua puede ser calcula por la siguiente expresión:

$$m_a = \forall_f \rho_f$$

Donde:

m_a : Es la masa de agua [kg]

d : Es el diámetro de la tubería [m]

L : Longitud del tubo [m]

ρ_f : Densidad del fluido [kg/m³]

$$m_a = \frac{\pi d^2}{4} L \rho_f$$
$$m_a = \frac{\pi(0.05m)^2}{4} (2 \times 0.165 + 0.9)m(1022Kg/m^3)$$
$$m_a = 2.47kg$$

Luego se calculó la masa total del sistema con la siguiente expresión:

$$m_T = m_a + m_{uv}$$

Donde:

m_T : Masa total [kg]

m_{uv} : Masa del ultravioleta [kg]

$$m_T = 2.47kg + 3.85 Kg$$

$$m_T = 6.32Kg$$

El peso viene dado por la siguiente expresión:

$$P = \frac{(m_T * g)}{3}$$

Donde:

P: Es el peso de la unidad con agua [N]

$$P = \frac{(6.32Kg * 9.81m/s^2)}{3}$$

$$P = 20.66N$$

Se procedió a determinar diagramas de fuerza cortante y momento flector.

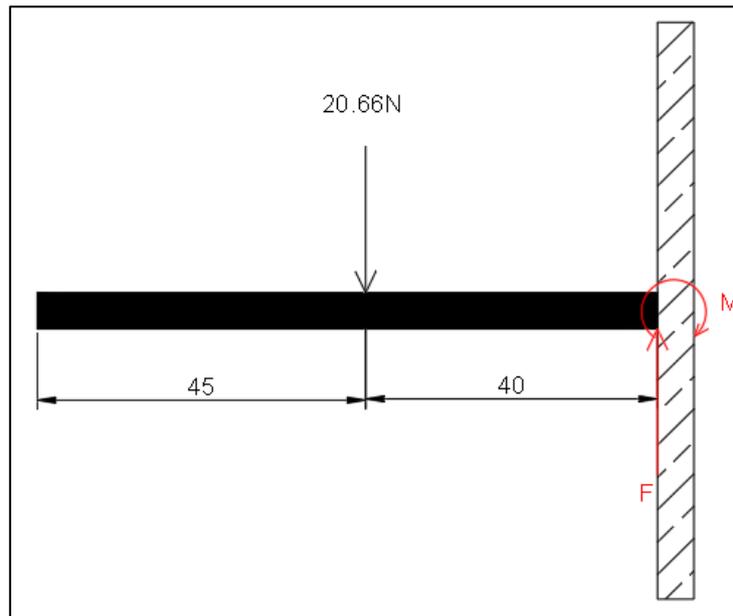


Figura B.10 Diagrama de viga empotrada a un extremo, representación de soporte para filtro UV. [Elaboración propia]

$$\sum F_y = 0$$

$$F = 20.66N$$

$$\sum M_o = 0$$

$$20.66N * 40mm - M = 0$$

$$M = 826.4Nmm$$

Con los valores de F y M determinados podemos fácilmente graficar los diagramas de fuerza cortante y momento flector.

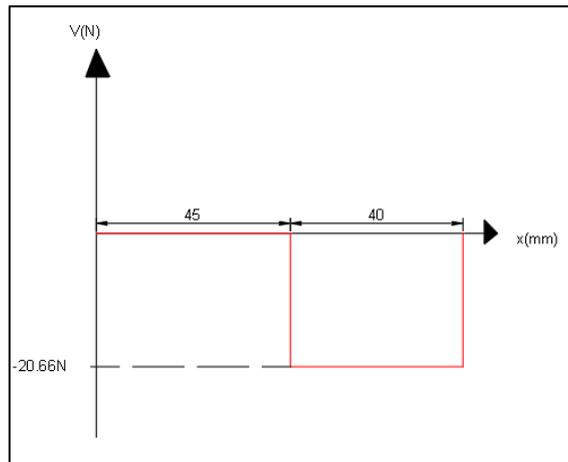


Figura B.11 Diagrama de fuerza cortante para viga empotrada.

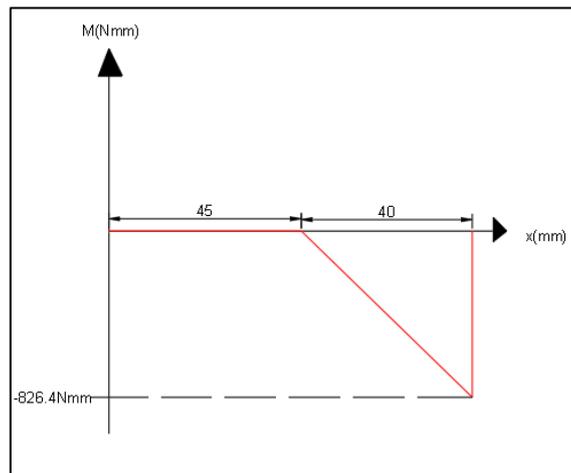


Figura B.12 Diagrama de momento flector para viga empotrada. [Elaboración propia]

Observamos que tanto el momento máximo como la fuerza cortante máxima ocurren en el empotramiento de la viga por lo que se procedió a analizar los esfuerzos en este punto, teniendo en cuenta que trabajamos con una viga de perfil circular de 0.006m de diámetro de acero dulce AISI1020 que tiene un esfuerzo a la fluencia de 205 MPa.

El área será igual a,

$$A = \pi C_0^2$$

Donde:

C_0 : Es el diámetro del perfil de la viga.

$$A = \pi(0.003m)^2$$

$$A = 2.82 \times 10^{-5} m^2$$

La inercia,

$$I = \frac{\pi}{4} C_0^4$$

$$I = \frac{\pi}{4} (0.003m)^4$$

$$I = 6.36 \times 10^{-11} m^4$$

El momento del área A con respecto al eje neutro,

$$Q = \sum A' \bar{z}$$

$$Q = \left(\frac{\pi C_0^2}{2}\right) \left(\frac{4C_0}{3\pi}\right)$$

$$Q = \frac{2}{3} C_0^3$$

$$Q = \frac{2}{3} (0.003m)^3$$

$$Q = 1.8 \times 10^{-8} m^3$$

Con estos valores procedemos a calcular los esfuerzos máximos

Esfuerzo de flexión:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{0.8264 Nm (0.003m)}{6.36 \times 10^{-11} m^4}$$

$$\sigma = 38.98 MPa$$

Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

$$\tau = \frac{20.66 N (1.85 \times 10^{-8} m^3)}{6.36 \times 10^{-11} m^4 (0.003)}$$

$$\tau = 2.003 kPa$$

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

$$\sigma' = \sqrt{(38.98 MPa)^2 + 3(2.003 MPa)^2}$$

$$\sigma' = 39.13 MPa$$

Mediante la teoría de falla de Von Mises podemos deducir un factor de seguridad de:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma}$$
$$\eta = \frac{205Pa}{39.13Pa}$$
$$\eta = 5.24$$

B.11 Cálculos para la base del soporte.

Calculamos el volumen total de tubería:

$$V_{vol,tub} = A_{tubería}L_{tubería} \quad (B.20)$$

Donde:

$V_{vol,tub}$: Volumen de la línea de conducción [cm³]

$A_{tubería}$: Área de la línea de conducción [cm²]

$L_{tubería}$: Longitud de la línea de conducción [cm]

$$V_{vol,tub} = \frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2)L$$
$$V_{vol,tub} = \frac{\pi}{4}((3.2cm)^2 - (2.88cm)^2)(55.8cm)$$
$$V_{vol,tub} = 85.27cm^3$$

El peso de las tuberías será:

$$W = V_{vol,tub} * \gamma$$

Donde:

γ : Densidad del PVC. [g/cm³]

$$W = 85.27cm^3(1.42 \frac{g}{cm^3})$$
$$W = 121.08grf = 0.1211kgf$$

Por lo tanto, su masa es de

$$m_t = 0.1211Kg$$

Además, requerimos la masa total de agua que estará circulando a través del sistema, considerando que el tanque será llenado con un volumen de agua de 480 L y la densidad de dicha agua es de 1022kg/m³.

$$m_a = V_{vol,tub} * \rho$$

Donde:

ρ : Densidad del agua mar [kg/m³]

$$m_a = \frac{480}{1000} m^3 (1022kg/m^3)$$
$$m_a = 490.56kg$$

B.12 Mantenimiento de la unidad esterilizadora UV.

B.12.1 Seguridad de la unidad de esterilización UV:

La luz ultravioleta es peligrosa para los ojos y la piel y la lámpara nunca debe utilizarse fuera de su carcasa. Se puede ver un resplandor verde / azul en los extremos de la unidad para indicar que está encendida en uso normal. Antes de realizar cualquier limpieza o mantenimiento, debe desconectarse la alimentación eléctrica.

B.12.2 Reemplazo de la lámpara:

Las lámparas se deterioran gradualmente con el uso y deben cambiarse como se especifica el fabricante. Esto puede basarse en los intervalos especificados por el fabricante de la lámpara en términos de horas de uso, sin embargo, se puede dar un intervalo de tiempo calendario en su lugar. En la Figura B. 9 se puede apreciar las partes del esterilizador.

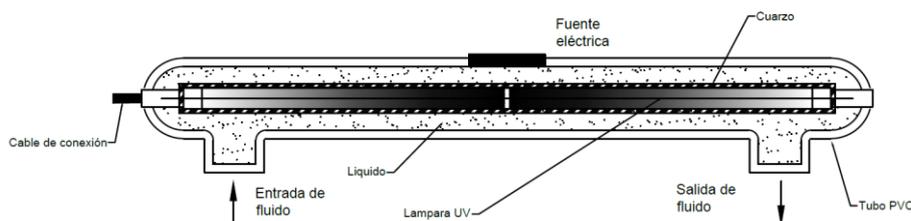


Figura B.13 Partes de un esterilizador ultravioleta para su posterior análisis. [Elaboración propia]

Para reemplazar una lámpara los pasos a seguir fueron los siguientes:

- Apagar la corriente
- Retire con cuidado los conectores de la lámpara y las cubiertas de cada extremo, sosteniendo el tubo si está montado verticalmente
- Desliza suavemente la lámpara fuera de la funda de cuarzo
- Coloque la nueva lámpara en el procedimiento inverso.

Limpieza: Es posible que la funda de cuarzo necesite una limpieza ocasional como resultado de la acumulación de sedimentos en su superficie exterior. La acumulación de sedimentos dependerá de la claridad del suministro de agua y se recomienda que la manga se revise después de algunas semanas para dar una guía de la frecuencia de limpieza requerida.

Para quitar la funda de cuarzo:

- Desconecte la alimentación y retire la lámpara UV
- Asegúrese de que se haya drenado el agua de la unidad
- Desatornille las tuercas de los extremos y retire las juntas tóricas y las arandelas (esto a veces es difícil).
- El tubo necesitará soporte en la parte inferior de la unidad si se monta verticalmente para evitar que se caiga.
- Retire la funda de cuarzo, teniendo cuidado de manipularla solo en los extremos, e inspecciónela con cuidado. Si está agrietado, el manguito debe reemplazarse. La manga debe limpiarse con agua jabonosa y cepillarse suavemente si es necesario. Las mangas se decoloran después de muchos años de uso y si están muy manchadas deben reemplazarse
- Enjuague y seque el manguito y vuelva a colocarlo en la unidad. Insertar un taco de madera limpio en el manguito puede ayudar en esto y reducir la posibilidad de rotura.
- Reemplace las juntas tóricas y las arandelas y apriete las tuercas solo con presión manual y, si es necesario, vuelva a conectarlas al sistema de plomería.
- Abrir el agua y comprobar si hay fugas
- Reemplazar la lámpara.

Toda esta información fue recopilada del sistema de purificación de la empresa Seafish.

B.13 Mantenimiento de la bomba.

Si existiera algún imperfecto por parte de la bomba en las horas de operación estos se deberían solucionar retirando la unidad sin ningún inconveniente de la estación depuradora.

Uso de las válvulas del sistema.

A: Válvula a la salida del tanque

B: Válvula a la salida de a bomba hacia el filtro para sedimentos

C: Válvula a la salida de la bomba hacia la descarga rápida

D: Válvula de desagüe.

**Tabla B.12 Estado de las válvulas para las diferentes actividades del sistema.
[Elaboración propia]**

Estado	Flujo de agua	A	B	C	D
1	Operación de la depuradora	Abierta	Parcialmente abierta	Cerrada	Cerrada
2	Descarga del tanque (Descarga del tanque)	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada
3	Descarga de los sedimentos	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta
4	Mantenimiento de equipos con tanque lleno	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada

De la tabla anterior cabe recalcar que cada estación de depuración debe tener su respectiva válvula de desagüe cerrada esto con la finalidad de que el agua de un sedimento no quede reposando en las líneas respectivas.

Por lo tanto para un mantenimiento correctivo de a bomba o cualquier equipo en las líneas de conducción la Tabla B.11 es una gran ayuda para el mantenimiento respectivo.

En el caso de los equipos bastará con retirar el suministro eléctrico y cerrar todas las válvulas (estado 4 de la Tabla B.11).

Tabla B.13 Plan de mantenimiento para las estaciones de depuración

Plan de trabajo No. 1		Elaborado por: M. Moreno Fajardo. D. Noblecilla Bustamante. Controlado por:		ESPOL - MANTENIMIENTO		
Denominación: Mantenimiento de bombas, filtros y esterilizadores		Número analítico:		Lugar	Intervalo	Operador responsable
				Lugar de trabajo de máquina	Semestral	Técnico de turno
No.	Operación	Herramientas	Repuestos	Tiempo (min)	Observaciones	
1	Actividades preparatorias del trabajo			20		
2	Bloquear equipo eléctricamente			10		
3	Evacuar agua del tanque			10	Evacuar agua por la línea del desagüe	
4	Evacuar agua de los equipos	Uso de recipientes para evitar derramar agua al suelo		10		
5	Desacoplar uniones universales de cada línea de conducción de agua			25	Deben estar abiertas todas las líneas.	
6	Retirar pernos de la base de la bomba	Uso de rache y dados de 3/8"		25		
7	Retirar la bomba			10		
8	Retirar los manómetros en la entrada y salida de los filtros	Uso de llave de tuercas hexagonal 10mm		20		
9	Retirar los pernos del filtro de sedimentos	Uso de llave de tuercas de 5/8"		20		
10	Se retiran las bridas entrada y salida	Uso de llave de tuercas de 5/8"		20		

11	Se retira el filtro de sedimentos			15	
12	Se retira la luz ultravioleta			10	
13	Se revisan las líneas de conducción			25	
14	Limpieza de las líneas de conducción	Hidrolavadora		25	Uso de agua a presión para verificar líneas tapadas
15	Desarme del ultravioleta	Desarmador punta plana		25	
16	Limpieza e inspección de la lámpara de cuarzo		Cambio de la lámpara de cuarzo	25	
17	Limpieza y cambio de cojinetes de la bomba	Uso de rache y dados de 3/8" desarmador plano y llave y dado 8	Cojinetes y carbones de ser el caso	25	
18	Limpieza e inspección del filtro para sedimentos		Cambio de las bolsas	25	
19	Montaje de la bomba	Uso de rache y dados de 3/8"		10	
20	Montaje del filtro de sedimentos	Uso de llave de tuercas de 5/8"		25	
21	Montaje de esterilizador UV	Llave de tubo de 2"		25	
22	Montaje de las líneas de conducción de agua			25	
23	Montaje del rotámetro	Llave de tubo		10	
24	Prueba hidrostática para las tuberías	Uso de manómetros de presión		25	
25	Prueba de calibración del rotámetro	Uso del rotámetro digital		20	

26	Activar equipo eléctricamente			10	
27	Poner en marcha el sistema recirculando sin molusco por dos horas			120	Verificar que el sistema no tenga fugas
TOTAL				615	

APÉNDICE C. Especificaciones

C.1 Especificaciones de equipos seleccionados

C.1.1 Especificaciones de la bomba seleccionada



Cabeza baja-media

Las bombas de impulsión magnética Iwaki® son una excelente opción para aplicaciones de acuicultura, acuarios y aplicaciones de procesos industriales, ya que son muy eficientes, extremadamente silenciosas y transfieren el mínimo calor del motor al agua. TENV o TEFC Motores con protectores térmicos incorporados. Los extremos líquidos son polipropileno. 115V / 60 Hz con cable de 6 '(cable de 3' en los modelos PM26, PM27, PM28). Para los modelos PM21, PM23 y PM25 el puerto de descarga es 15 grados de desplazamiento de vertical.

MODELO	AMPS	ENTRADA / SALIDA		DIMENSIONES			SHIP WT (LBS)
		MNPT	L	W	H		
PM20	.45	3/4"	13"	6 1/2"	6 1/2"	7.2	
PM21	.45	1"	13"	6 1/2"	6 1/2"	7.2	
PM22	1.0	3/4"	13 3/4"	6 1/2"	6 1/2"	9.3	
PM23	1.0	1"	13 3/4"	6 1/2"	6 1/2"	9.3	
PM24	1.9	3/4"	13 1/2"	6 1/2"	6 1/2"	10	
PM25	1.9	1"	13 1/2"	6 1/2"	6 1/2"	10	
PM26	1.6	1"	13"	9 3/4"	8 1/2"	14	
PM27	3.0	1"	12 1/2"	9 3/4"	8 1/2"	15.7	
PM28	3.4	1"	13"	6 1/4"	7"	21	

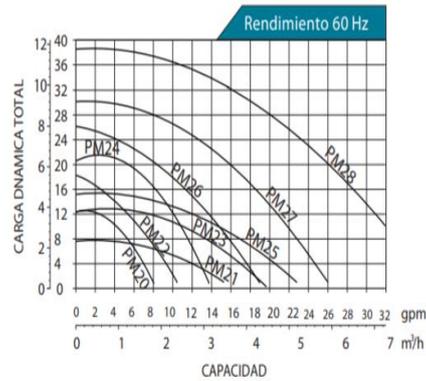


Figura C.1 Especificaciones de la bomba seleccionada[“Catalogos de implementos para piscinas,” 2021]

C.1.2 Especificaciones de la bomba actual del sistema.

Modelo	Q _{max} (l/min)	H _{max} (m)	V/Hz	Potencia		Tamaño de montaje (mm)	(Kg)	Tamaño de embalaje (mm)	(Qty/20')	(Amps)
				KW	HP					
SMP35	190	7.5	220-240/50	0.25	0.35	48.5 o 50	8.1	410X225X225	654	1.6
SMP50	220	9	220-240/50	0.37	0.5	48.5 o 50	9.3	410X225X225	654	2.0
SMP75	280	11	220-240/50	0.55	0.75	48.5 o 50	10.6	410X225X225	654	3.2
SMP100	310	14.5	220-240/50	0.75	1.0	48.5 o 50	11.4	410X225X225	654	3.8
SMP120	340	15.5	220-240/50	0.9	1.2	48.5 o 50	11.8	410X225X225	654	4.6
SMP150	350	17.5	220-240/50	1.1	1.5	48.5 o 50	12.8	410X225X225	654	5.8

Figura C.2 Especificaciones de la bomba actual del sistema.[“Catalogos de implementos para piscinas,” 2021]

C.1.3 Especificaciones del pallet

	<h2>Pallet Plus TC ECO</h2>
	<p>Código: 912253</p> <hr/> <p>Fabricado con resina post industrial Capacidad de carga Dinámica: 1250 kilos Capacidad de carga Estacionaria: 4500 kilos Capacidad de carga en Rack: 1200 kilos Entrada 4 lados Dimensiones (cms): 100 Largo, 120 Ancho, 14 Altura</p> <hr/> <p>Colores:</p> 

Figura C.3 Especificaciones del pallet [Elaboración propia]

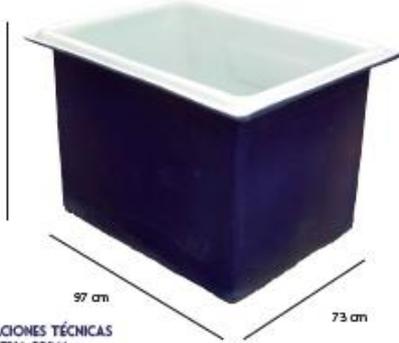
C.1.4 Especificaciones del tanque para depuración.



TANQUE RECTANGULAR L-500

Código: I-10090

MEDIDAS:



• ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MATERIA PRIMA

MATERIAL: Polietileno de rotomoldeo, sin espumantes, aprobado por la FDA de los Estados Unidos.
Protección contra rayos ultravioletas (UV)



Figura C.4 Especificaciones del tanque para depuración [“Tanque rectangular,” 2021]

C.1.5 Especificaciones de gaveta



Figura C.5 Especificaciones de gaveta [“Ferretería-Gavetas,” 2021]

C.1.6 Especificaciones del filtro ultravioleta

Tabla C.1 Especificaciones y características de filtros UV comerciales

Uv esterilizador						
Modelo no	Tamaño (Mm)	Flowwrate (M & sup3;/h)	Potencia		Entrada (mm) (MM/pulgada)	Salida (mm) (MM/pulgada)
			(W)	(HP)		
ZH-UVP6	980*80*180	6	80	0.11	50 (1.5 ")	50 (1.5 ")
ZH-UVP10	980*300*180	10	160	0.21	50 (1.5 ")	50 (1.5 ")
ZH-UVP20	1100*500*510	20	320	0.43	50 (1.5 ")	50 (1.5 ")
ZH-UVP40	1150*520*700	40	480	0.64	63 (2 ")	63 (2 ")
ZH-UVP60	1250*600*950	60	640	0.86	75 (2.5 ")	75 (2.5 ")
ZH-UVP80	1250*650*1200	80	800	1.07	90 (3 ")	90 (3 ")
ZH-UVP100	1280*720*1480	100	960	1.29	110 (4 ")	110 (4 ")
ZH-UVP120	1280*720*1680	120	1120	1.5	110 (4 ")	110 (4 ")

C.1.7 Especificaciones del filtro para sedimentos

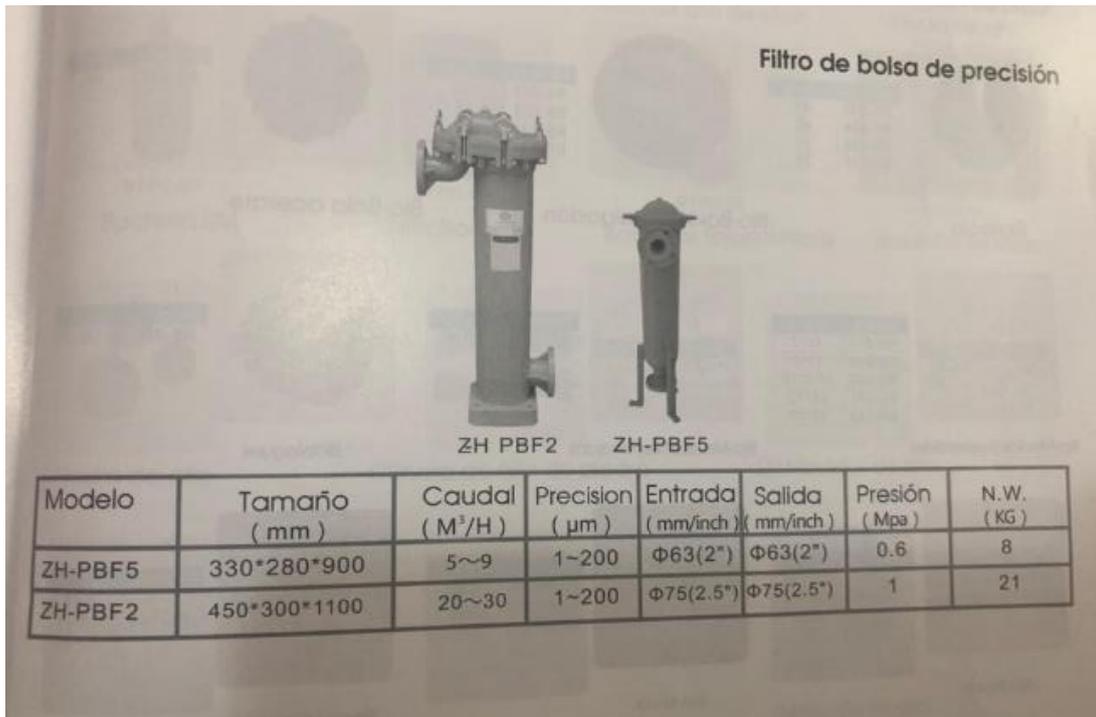


Figura C.6 Especificaciones del filtro para sedimentos ["Catálogos de implementos para piscinas," 2021]

C.1.8 Proformas y cotizaciones de diferentes proveedores.

COTIZACIÓN

Nombre:
Email:
Dirección:
Ciudad:
Teléfono:

CODIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO	SUB-TOTAL	IMPUESTO	TOTAL
6252	TANQUE 500LTS. RECTANGULAR	1	\$ 143.25	\$ 143.25	\$ 17.19	\$ 160.44
						Subtotal \$ 143.25
						Total Impuesto \$ 17.19
						TOTAL \$ 160.44

NOÍAS: Validez de la proforma 15 días

Figura C7 Cotización a FERROBRONCE 1. [Bravo, 2021]

COTIZACIÓN

FECHA
COTIZACIÓN #
CLIENTE ID
VALEO HASTA

Nombre:
 Email:
 Dirección:
 Ciudad:
 Teléfono:

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO	VALOR	PRECIO	VALOR
3230	LLAVE 32MM PVC	5	\$ 5.79	\$ 28.95	\$ 3.15	\$ 15.75
3716	TEE 32mm E/C	40	\$ 0.45	\$ 18.00	\$ 2.41	\$ 96.40
2030	CODO 32 X 90° E/C	10	\$ 0.62	\$ 6.20	\$ 1.11	\$ 11.10
5737	REDUCTOR 30 X 20 E/C	15	\$ 0.70	\$ 10.50	\$ 1.20	\$ 18.00
438	ADAPTADOR M 30 X 1 1/2" E/C	15	\$ 0.86	\$ 12.90	\$ 1.59	\$ 23.85
451	ADAPTADOR M 75MM X 3/4" ORE	3	\$ 3.15	\$ 9.45	\$ 1.33	\$ 3.99
5742	REDUCTOR 75 X 50 E/C	3	\$ 1.58	\$ 4.74	\$ 0.57	\$ 1.71
355	ADAPTADOR H 50 X 1 1/2" E/C	3	\$ 1.00	\$ 3.00	\$ 0.36	\$ 1.08
3484	PUSH 1 1/2" (BALANZ) (A,B)	3	\$ 8.43	\$ 25.29	\$ 3.03	\$ 9.09
3065	NEPLO FLEX 1"	3	\$ 0.51	\$ 1.53	\$ 0.18	\$ 0.54

ENTREGADO
FECHA: 31/07/2021
FERROBRONCE

FERROBRONCE CANCELADO
FECHA: 31/07/2021

Por facturar

NOTAS - Validez de la cotización 15 días

Subtotal	\$	123.28
Ferrosuavizado	\$	14.78
TOTAL	\$	138.06

\$130

Figura C.8 Cotización a FERROBRONCE 2. [Ferrobronce, 2021]

Válida a la fecha y hora de emisión: 20-09-2021 22:46:44

Cliente: MORENO FAJARDO MARIO IVAN
 Ciudad:
 Dirección:
 Teléfono, e-mail: No registrado

Artículos en Cotización

LN	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	PUNTE	VALOR
1	4002542	TUB PP RR 1 1MT	10.00	US\$3.50	US\$35.00
2	4027032003	ANTICORROSIVO INDUST MATE NEGRO	10.00	US\$4.55	US\$45.50
3	4039890	CODO 90-D116 PP ROSCABLE 1	50.00	US\$0.97	US\$48.50
4	4002509	UNION UNIV 1 RR PP 1	12.00	US\$4.33	US\$51.96
5	4002244	PERMATEX GOMA INDIA 30N2 51 20Z. LOCTITE	10.00	US\$1.74	US\$17.40
6	4002544	TEFLON ROJO	10.00	US\$0.75	US\$7.50
7	4002464	POLIFEGA 940CC 940CC	3.00	US\$15.87	US\$47.61
8	4006293	MANOMETRO VASTAGO INF P BOMBA PR	6.00	US\$2.96	US\$17.76
9	40281548	BOMBA PERIFERICA PKM60 0.5HP 110V 60HZ	3.00	US\$92.41	US\$277.23
10	4006392	BOMBA SUCCION 1.2HP 110V QB60	3.00	US\$26.77	US\$80.31
11	4006303	BOMBA JET 1HP 3A250 TEKNO	3.00	US\$124.02	US\$372.06
Sub Total					US\$909.03
IVA 12%					US\$109.08
Total					US\$1018.11

Cotización realizada con precio AFILIADO
 LA EMPRESA SE RESERVA EL DERECHO DE VARIAR LOS PRECIOS SIN PREVIO AVISO
 SOMOS CONTRIBUYENTES ESPECIALES

Figura C.9 Cotizacion a Hipermarket Alban Borja. ["Catálogos de bombas centrifugas.," 2021]

NOTA PEDIDO N°.

Fecha: 02/08/2021
 R.U.C.: 111111116
 Forma Pago: CONTADO
 Dias: 0

Cliente: 99999 - CONSUMIDOR FINAL
 Dirección: INDETERMINADO
 Vendedor: INDETERMINADO
 Ciudad: GUAYAQUIL
 O/C: 000

Código	Descripción	Cantidad	V. Unit.	SubTotal	Descn.	%	Valor Total
135129	PERNOS 3/8 X 2" HEXA. HIERRO NEGRO	6.00	0.14000	0.840	0.09	11	0.7476
135172	PERNOS 5/8 X 2" HEXA. HIERRO NEGRO	6.00	0.53000	3.180	0.75	11	2.6302
135174	PERNOS 5/8 X 3" HEXA. HIERRO NEGRO	12.00	0.85000	10.200	1.12	11	9.0780
304105	ANILLOS 3/8 PRESION NEGRO	6.00	0.02000	0.120	0.01	11	0.1068
309103	ANILLOS 1/4" (6MM) PLANOS ACERO GALV.	9.00	0.02000	0.180	0.02	11	0.1602
311105	ANILLOS 3/8 PLANOS NACIONALES	12.00	0.04000	0.480	0.05	11	0.4372
311109	ANILLOS 5/8" PLANOS NACIONALES	18.00	0.10000	1.800	0.20	11	1.6000
316126	TORNILLOS 5 X 16MM C/RED. GALV.	9.00	0.04000	0.360	0.04	11	0.3204

Observaciones:

SUBTOTAL: 15.2724
 (-) DESCUENTO: 0.0000
 (+) I.V.A: 1.8326
 (+) FLETE: 0.0000
TOTAL: 17.1050

CANCELADO

RCONFORME REALIZADO POR: _____ JEFE DE VENTAS

Mano de Borja
A.B. 11

Figura C.10 Proforma a Ferreteria Lubripernos. [Lubripernos, 2021]

N° 0000317

Se. (es): _____ Fecha de Emisión: 02/08/21
 R.U.C./C.I.: _____ Telf.: _____
 Dirección: _____

POR LO SIGUIENTE DEBE

Cantidad	DESCRIPCIÓN	P. Unitario	Valor de Venta
1	caja de aceite 8-16		18.-
3	cajas de aceite PVC		6.25
3	cajas de aceite		3.60
3	cajas de aceite		24.-
3	cajas de aceite		12.-
140	mts cableado 3x14		170.00
10	mts cableado 4x10		30.-
2	cajas de aceite 2x2		3.40
2	cajas de aceite 3/4		2.40
2	cajas de aceite 1/2		1.60
2	cajas de aceite 1x2		0.90
2	cajas de aceite 5x6		0.90
1	caja 3m		1.40

SON: _____

SUBTOTAL: 275.40
 I.V.A. 0%
 I.V.A. %
TOTAL

Firma Autorizada: _____ Recibi Conforme

Figura C.11 Proformas Comercial Don Antonio [Comercial Don Antonio, 2021]

LÁMPARA ULTRAVIOLETA de agua UV
55 watts / 12 galones X minuto.

- 1.- Un sistema óptimo de desinfección ultravioleta con cámara de radiación UV.
- 2.- Los rayos ultravioletas eliminan las bacterias, virus, mohos, algas o levaduras.
- 3.- Proporciona un organismo libre de patógenos con 99.99% de bacterias y virus que se encuentran en el agua.









Síguenos:  

Vitality
Water Solutions

Nuevo

Lampara Ultravioleta Uv Germicida 55w Filtro De Agua 

U\$S 450

 Pago a acordar con el vendedor
Acepta depósito bancario, efectivo, tarjeta de crédito.
[Más información](#)

 **Envío gratis a todo el país**
Rumiñahui, Pichincha (Quito)
[Ver costos de envío](#)

Cantidad: **1 unidad** (12 disponibles)

[Comprar ahora](#)

Figura C.12 Cotización a Vitality [Vitality Water Solutions, 2021].

APÉNDICE D. Evidencias del montaje.

Evidencia de la instalación del Sistema de depuración para moluscos bivalvos.



Figura D.1 Filtro para sedimentos



Figura D.2 Instalación de la bomba



Figura D.3 Ubicación de las bases en el laboratorio.



Figura D.4 Acoplamiento de accesorios



Figura D.5 Roscado de tuberías.



Figura D.6 Instalación de línea de succión.



Figura D.7 Instalación de línea de impulsión



Figura D.8 Limpieza de bridas PVC



Figura D.9 Selección de accesorios y tuberías, líneas de impulsión



Figura D.10 Revisión de líneas de succión



Figura D.11 Instalación de manómetros



Figura D.12 Acoplamiento de accesorios PVC



Figura D.13 Línea de aspersión.



Figura D.14 Instalación de esterilizador ultravioleta



Figura D.15 Selección de accesorios para entrada y salida del UV.



Figura D.16 Encolado de partes con cemento solvente para PVC.



Figura D.17 Encolado de partes PVC.



Figura D.18 Acoplamiento de brida y reductor PVC



Figura D.19 Acoplamiento de línea de conducción a brida



Figura D.20 Instalación de la línea del UV.



Figura D.21 Instalación de línea de entrada al filtro para sedimentos



Figura D.22 Instalación de rotámetro y UV.



Figura D.23 Línea de desagüe.



Figura D.24 Emparrillado del sistema depuración.



Figura D.25 Comprobación de emparrillado del sistema



Figura D.26 Instalación de la tubería de desagüe.



Figura D.27 Estaciones de sistemas de depuración



Figura D.28 Sistema de depuración operando en sus tres estaciones.



Figura D.29 Sistema de depuración funcional.



Figura D.30 Prueba de los aspersores



Figura D.31 Prueba de los aspersores a 20L/min



Figura D.32 Gavetas seleccionadas para depuración



Figura D.33 Prueba general del sistema de depuración.



Figura D.34 Verificación que la aspersion sea la adecuada para los moluscos.

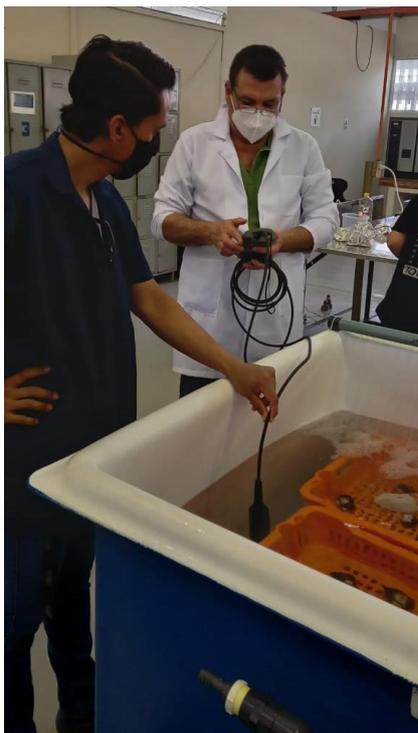


Figura D.35 Verificación del oxígeno disuelto del sistema.



Figura D.36 Medición de temperatura de operación del fluido. (Agua de mar artificial)



Figura D.37 Comprobación de la salinidad del sistema.



Figura D.38 Medición del oxígeno disuelto.



Figura D.39 Bomba en funcionamiento.



Figura D.40 Verificación de las líneas de evacuación de agua de los sedimentos.



Figura D.41 Prueba de las válvulas de retención estación 1



Figura D.42 Prueba de la válvula de retención de la estación 2



Figura D.43 Estación 3 en funcionamiento



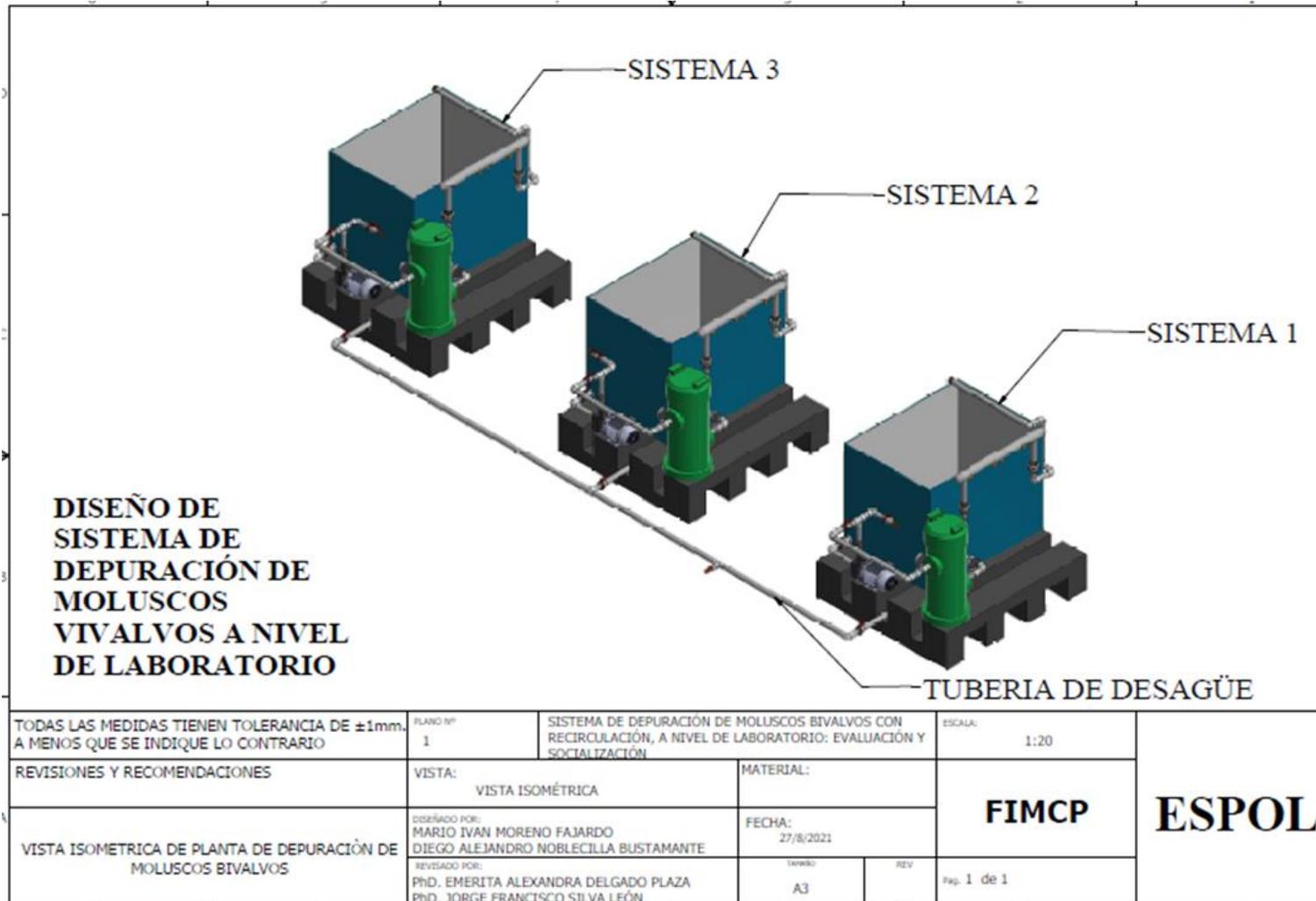
Figura D.44 Moluscos bivalvos primer lote para su depuración

Tabla D. 26 Criterios para la clasificación de zonas de producción de moluscos en UE.

Clasificación de las zonas de producción	Estandar microbiológico por cada 100g de carne de moluscos bivalvos y de líquido intravalvar	Tratamiento necesario
A	$\leq 230 E. \frac{\text{coli}}{100g}$ de carne y líquido intravalvar	Ninguno
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.
C	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
D	46000 E. coli/100g de carne y líquido intravalvar	No se permite la recolección

Nota. Esta tabla muestra el origen de los moluscos a la depuradora y la categoría para lo cual define que moluscos se deben depurar. Para el caso de este proyecto se tiene una clasificación de zona B. Nota: Tomada de: Depuración de bivalvos aspectos fundamentales y prácticos, por L. Ronald, A. Lovatelli, L. Ababouch, 2010. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

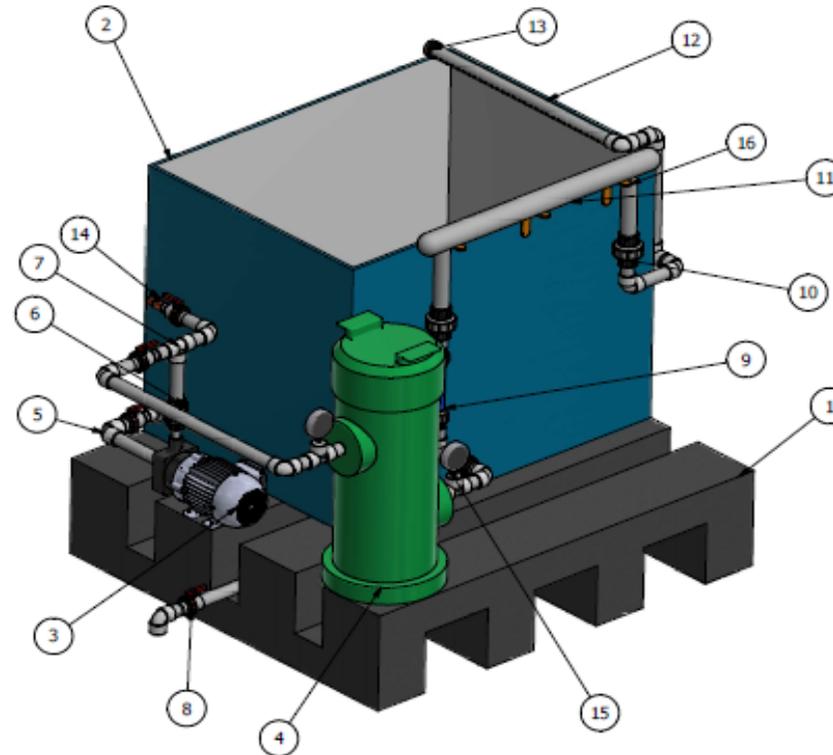
APÉNDICE E. Planos de fabricación



PLANO 1 Sistema de depuración con recirculación. Escala laboratorio.

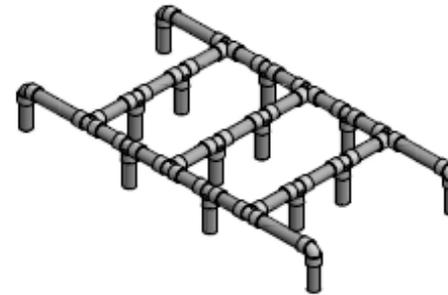
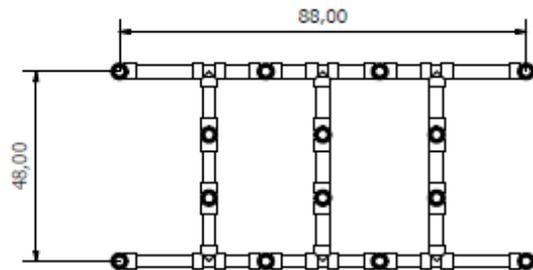
SISTEMA DE DEPURACIÓN DE MOLUSCOS VIVALVOS A NIVEL DE LABORATORIO

LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	PALET
2	1	TANQUE
3	1	BOMBA
4	1	FILTRO
5	14	Codo de 90 grad
6	2	VALVULA CHECK
7	3	TUBO EN T
8	4	VALVULA
9	1	CAUDALIMETRO
10	2	union universal
11	1	LAMPARA UV
12	1	ASPERSOR
13	1	TAPON PEGABLE
14	1	CONECTOR TUBERIA MANGUERA
15	2	MANOMETRO
16	3	PIE DE AMIGO

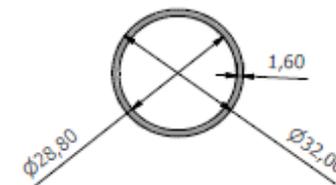


TODAS LAS MEDIDAS TIENEN TOLERANCIA DE $\pm 1\text{mm}$. A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO	PLANO Nº 2	SISTEMA DE DEPURACIÓN DE MOLUSCOS BIVALVOS CON RECIRCULACIÓN, A NIVEL DE LABORATORIO: EVALUACIÓN Y SOCIALIZACIÓN	ESCALA: 1:10	FIMCP	ESPOL
REVISIONES Y RECOMENDACIONES	VISTA: VISTA ISOMETRICA	MATERIAL:			
LISTADO DE PIEZAS DE SISTEMA DE DEPURACIÓN DE MOLUSCOS BIVALVOS	DISEÑADO POR: MARIO IVAN MORENO FAJARDO DIEGO ALEJANDRO NOBLECILLA BUSTAMANTE REVISADO POR: PhD. EMERITA ALEXANDRA DELGADO PLAZA PhD. JORGE FRANCISCO SILVA LEÓN	FECHA: 27/8/2021	Tamaño: A3 REV: Pag. 1 de 1		

PLANO 2 Estación para depuración y sus componentes

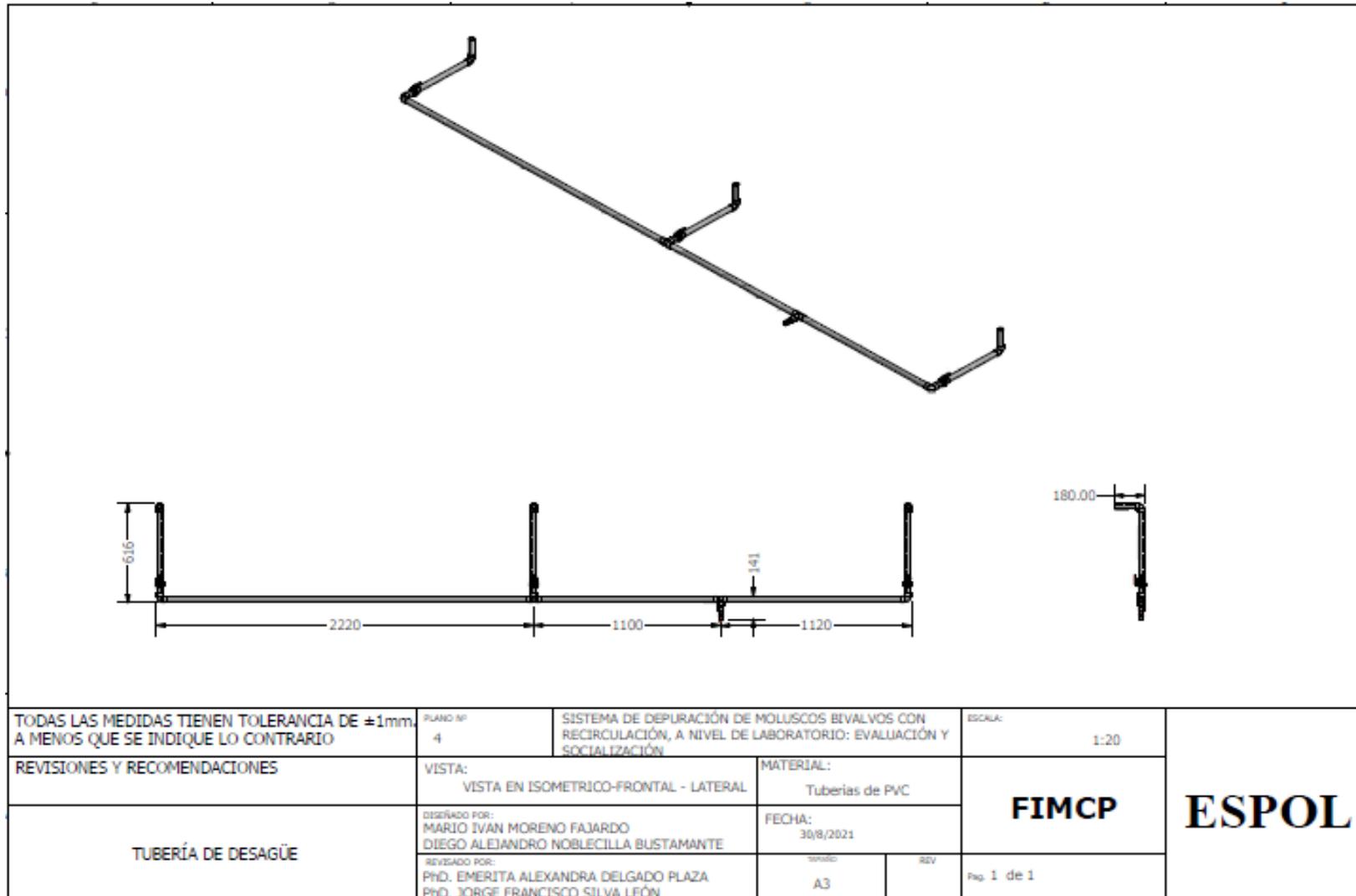


PERFIL DE TUBERÍA



TODAS LAS MEDIDAS TIENEN TOLERANCIA DE $\pm 1\text{mm}$. A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO	PLANO Nº 3	SISTEMA DE DEPURACIÓN DE MOLUSCOS BIVALVOS CON RECIRCULACIÓN, A NIVEL DE LABORATORIO: EVALUACIÓN Y SOCIALIZACIÓN		ESCALA: 1:10	FIMCP ESPOL
REVISIONES Y RECOMENDACIONES	VISTA: V. FRONTAL- V. INFERIOR- V. LATERAL L.	MATERIAL: Tuberías de PVC			
ARMADURA DE SOPORTE PARA GAVETAS	DISEÑADO POR: MARIO IVAN MORENO FAJARDO DIEGO ALEJANDRO NOBLECILLA BUSTAMANTE	FECHA: 27/8/2021			
	REVISADO POR: PhD. EMERITA ALEXANDRA DELGADO PLAZA PhD. JORGE FRANCISCO SILVA LEÓN	DIBUJO: A3	REV:	Pág. 1 de 1	

PLANO 3 Diseño de armadura a utilizar como soporte de gavetas.



TODAS LAS MEDIDAS TIENEN TOLERANCIA DE $\pm 1\text{mm}$, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO		PLANO Nº 4	SISTEMA DE DEPURACIÓN DE MOLUSCOS BEVALVOS CON RECIRCULACIÓN, A NIVEL DE LABORATORIO: EVALUACIÓN Y SOCIALIZACIÓN	ESCALA: 1:20	FIMCP ESPOL
REVISIONES Y RECOMENDACIONES	VISTA: VISTA EN ISOMETRICO-FRONTAL - LATERAL	MATERIAL: Tuberías de PVC			
TUBERÍA DE DESAGÜE	DISEÑADO POR: MARIO IVAN MORENO FAJARDO DIEGO ALEJANDRO NOBLECILLA BUSTAMANTE	FECHA: 30/8/2021			
	REVISADO POR: PhD. EMERITA ALEXANDRA DELGADO PLAZA PhD. JORGE FRANCISCO SILVA LEÓN	TERCERA A3	REV	Pág. 1 de 1	

PLANO 4 Tuberías de desagüe para el sistema de depuración.