

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Diseño de un sistema de depuración de moluscos bivalvos a escala comercial adaptado a las realidades de las principales zonas de producción de Concha Prieta en Ecuador”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Jorge Adalberto Cárdenas Benavides

Jonathan Javier García Contreras

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a cada una de las personas que me han apoyado a lo largo de mi carrera, quienes han sido parte y pilar fundamental de la misma, al darme la confianza necesaria para cumplir cada uno de los objetivos que me planteé desde el inicio de mis estudios.

Jorge Adalberto Cárdenas Benavides

Dedico el presente trabajo a mis compañeros, amigos y familiares que me han apoyado tanto emocional como académica, permitiéndome crecer cada día con un futuro prometedor por delante para un día llegar a ser alguien que pueda devolver todo ese apoyo, no solo a ellos sino a todo aquel que lo necesite.

Jonathan Javier García Contreras

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente el apoyo incondicional de mis padres Jimmy Cárdenas P. y Amalia Benavides M.

A mis hermanos Guillermo y Néstor, por ser mis grandes ejemplos.

A mi tía María Cárdenas, quien ha sido un apoyo importante para mí.

A mi amiga Keisy, quien siempre estuvo pendiente de mis logros.

Jorge Adalberto Cárdenas Benavides

Agradezco primero a Dios por permitirme llegar hasta aquí y todo el apoyo que me ha dado, agradezco a mi madre, Juana Graciela Contreras, que ha realizado tantos esfuerzos en mi formación académica, a mis hermanas, Mabel y Paula García, y mi hermano, Jorge García, quienes siempre me han apoyado y aconsejado, a mi tía María Poveda que siempre busca ayudarme a mí y a mi familia, y a mis amigos del colegio con los que siempre he podido contar con ellos.

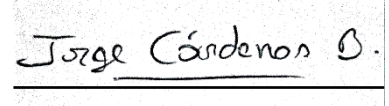
Jonathan Javier García Contreras

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jonathan Javier García Contreras* y *Jorge Adalberto Cárdenas Benavides* y 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”



Jonathan Javier
García Contreras



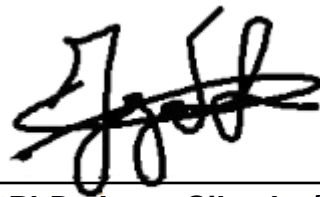
Jorge Adalberto
Cárdenas Benavides

EVALUADORES



M.Sc. José Macías Zambrano

PROFESOR DE LA MATERIA



PhD. Jorge Silva León

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente trabajo es parte de un proyecto multidisciplinario, el cual tiene como objetivo general diseñar alternativas de un sistema de depuración, a escala comercial, para garantizar la inocuidad alimentaria de la Concha Prieta, esto debido a que estas especies contienen en su organismo virus y bacterias patógenas y el consumo de estos origina enfermedades como gastroenteritis o hepatitis A. Específicamente la presente tesis se enfocará en el diseño del sistema de manejo del agua, tanques almacenamiento de agua, tanques de depuración y desagüe.

Se utilizó una matriz de decisión para escoger las alternativas más adecuadas en cuanto al tanque de depuración, el sistema de circulación, ambos estandarizados por la FAO, y el tanque de almacenamiento. De este análisis se concluyó que la mejor solución comprendía lo siguiente: un tanque de depuración a gran escala de concreto, un sistema de recirculación y un tanque de almacenamiento elevado de concreto como componentes recomendados para esta aplicación. La tubería escogida es de PVC a fin de evitar corrosión. Se optó por utilizar filtros de sedimentación y de arena, lámparas ultravioletas para la desinfección del agua, y bombas para acuicultura seleccionadas en base a pérdidas de carga.

Los resultados indicaron que las bombas adecuadas son el modelo Bomba SPARUS TM 160 para el llenado del tanque de almacenamiento y la bomba SPARUS Pentair modelo SPK-2-AQ para la circulación en los tanques de depuración. Esta última permitirá una velocidad de 1.2m/s, recomendada por la norma hidrosanitaria ecuatoriana, con una tubera de 63 mm de diámetro, con lo cual se obtiene un caudal de 12 m³/h.

Se concluye que el sistema de recirculación es el más adecuado para mantener un uso responsable y ecológico del agua y los costos resultantes (\$35,639.13 que incluye tuberías, bombas, filtros, pintura, hormigón y mano de obra) se justifican con un aumento de la demanda de 55% a 75% aproximadamente (cifras provistas por grupo de Economía del proyecto).

Palabras clave: depuración, sistema de recirculación, desinfección del agua, pérdidas de carga, moluscos bivalvos, concha prieta.

ABSTRACT

This work is part of a multidisciplinary project, whose general objective is to design alternatives of a purification system, on a commercial scale, to guarantee the food safety of Concha Prieta, this because these species contain viruses and viruses in their organism. Pathogenic bacteria and the consumption of these causes diseases such as gastroenteritis or hepatitis A. Specifically, this thesis will focus on the design of the water management system, water storage tanks, purification tanks and drainage.

A decision matrix was used to choose the most suitable alternatives in terms of the purification tank, the circulation system, both standardized by FAO, and the storage tank. From this analysis it was concluded that the best solution comprised the following: a large scale concrete scrubber tank, a recirculation system and an elevated concrete storage tank as recommended components for this application. The chosen pipe is made of PVC in order to avoid corrosion. It was decided to use sedimentation and sand filters, ultraviolet lamps to disinfect the water, and pumps for aquaculture selected based on head losses. The results indicated that the suitable pumps are the SPARUS TM 160 Pump model for filling the storage tank and the SPARUS Pentair model SPK-2-AQ pump for circulation in the purification tanks. The latter will allow a speed of 1.2m / s, recommended by the Ecuadorian hydrosanitary standard, with a 63 mm diameter pipe, which will obtain a flow of 12 m³ / h.

It is concluded that the recirculation system is the most appropriate to maintain a responsible and ecological use of water and the resulting costs (\$ 35,639.13 that includes pipes, pumps, filters, paint, concrete and labor) are justified by an increase in demand. from 55% to 75% approximately, figures provided by the project's economics group.

Keywords: purification, recirculation system, water disinfection, pressure drops, bivalve molluscs, black shell.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| RESUMEN..... | I |
| ABSTRACT | II |
| ÍNDICE GENERAL | III |
| ABREVIATURAS..... | VI |
| SIMBOLOGÍA..... | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | IX |
| ÍNDICE DE PLANOS..... | X |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1 Definición del problema..... | 1 |
| 1.2 Justificación del proyecto..... | 1 |
| 1.3 Objetivos | 2 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 2 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 2 |
| 1.4 Marco teórico | 2 |
| 1.4.1 Qué es la depuración | 2 |
| 1.4.2 Parámetros que controlan la depuración..... | 3 |
| 1.4.3 Métodos de depuración del agua | 4 |
| 1.4.3.1 Sedimentación y filtración | 5 |
| 1.4.3.2 Luz ultravioleta..... | 6 |
| 1.4.3.3 Cloración..... | 7 |
| 1.4.4 Sistema de recirculación de agua..... | 8 |
| 1.4.5 Sistema de circulación abierta..... | 8 |
| 1.4.6 Enfermedades relacionadas con los moluscos bivalvos..... | 9 |

| | |
|---|----|
| 1.4.7 Consideraciones generales de la planta de depuración | 10 |
| CAPÍTULO 2..... | 12 |
| 2. Metodología..... | 12 |
| 2.1 Metodología del diseño | 12 |
| 2.2 Requerimientos del sistema..... | 13 |
| 2.2.1 Parámetros de diseño | 14 |
| 2.2.1.1 Costos de fabricación y operación | 14 |
| 2.2.1.2 Eficiencia del sistema | 14 |
| 2.2.1.3 Manejo del sistema | 14 |
| 2.2.1.4 Confiabilidad del funcionamiento | 14 |
| 2.2.2 Análisis de alternativas..... | 15 |
| 2.2.2.1 Alternativas de diseño del sistema..... | 15 |
| Alternativa A: Sistema de circulación abierto | 15 |
| Alternativa B: Sistema de circulación cerrado | 15 |
| 2.2.2.2 Alternativas para el diseño de los tanques de depuración..... | 16 |
| Alternativa A: Diseño a mediana escala..... | 16 |
| Alternativa B: Diseño a gran escala | 16 |
| 2.2.2.3 Alternativas de diseño del tanque de almacenamiento..... | 17 |
| Alternativa A: Tanque de concreto a nivel del suelo | 17 |
| Alternativa B: Tanque de concreto elevado..... | 17 |
| Alternativa C: Tanques de polietileno..... | 17 |
| 2.3 Selección de alternativas | 17 |
| 2.3.1 Matriz de decisión para el sistema de circulación | 17 |
| 2.3.2 Matriz de decisión para el tanque de almacenamiento..... | 20 |
| 2.3.3 Matriz de decisión del sistema de recirculación | 21 |
| 2.3.4 Diseño propuesto | 23 |
| 2.3.4.1 Tanque de depuración | 23 |

| | |
|--|----|
| 2.3.4.2 Dimensiones del tanque | 23 |
| 2.3.4.3 Carga del tanque | 23 |
| 2.3.4.4 Material del tanque | 23 |
| 2.3.4.5 Mecanismo de desinfección del agua | 26 |
| 2.3.4.6 Filtro de sedimentación | 27 |
| CAPÍTULO 3..... | 28 |
| 3. Resultados y análisis | 28 |
| 3.1 Sistema de abastecimiento | 29 |
| 3.1.1 Tubería y válvulas | 30 |
| 3.1.2 Bomba | 30 |
| 3.1.3 Filtro de arena | 31 |
| 3.1.4 Tanque de almacenamiento | 32 |
| 3.2 Sistema de depuración | 33 |
| 3.2.1 Tanque de depuración..... | 34 |
| 3.2.2 Tuberías y válvulas..... | 35 |
| 3.2.3 Bombas | 37 |
| 3.2.4 Selección de la lámpara UV | 38 |
| 3.2.5 Tubería de descarga | 39 |
| CAPÍTULO 4..... | 41 |
| 4. Conclusiones y recomendaciones | 41 |
| 4.1 Conclusiones | 41 |
| 4.2 Recomendaciones | 42 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| APÉNDICES | |

ABREVIATURAS

| | |
|-------|--|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| UV | Ultravioleta |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| PVC | Policloruro de Vinilo |
| ACI | American Concrete Institute |

SIMBOLOGÍA

| | |
|---------------------------|--|
| ppt | Partes por mil |
| mg | Miligramos |
| L | Litros |
| Mca | Metros columna de agua |
| μm | Micrómetro |
| m^3/h | Metros cúbicos por hora |
| nm | Nanómetro |
| $\text{mW s}/\text{cm}^2$ | Miliwatts segundos por centímetro cuadrado |
| W | Watt |
| S | Segundos |
| pH | Potencial de hidrógeno |
| Kg | Kilogramos |
| cm | Centímetros |
| cm^3 | Centímetros cúbicos |
| h | Horas |
| Kg/gal | Kilogramos por galón |
| g/L | Gramos por litro |
| $^{\circ}\text{C}$ | Grados Celsius |
| Mpa | Mega pascales |
| KN/m^3 | Kilo Newton por metro cúbico |
| Mm | Milímetro |
| HP | Horse Power |
| GPM | Galones por minuto |
| LPM | Litros por minuto |
| PSI | Libra por pulgada cuadrada |
| Re | Número de Reynolds |
| ε | Rugosidad |
| f | Factor de fricción |
| min | Minutos |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Tanque de sedimentación. | 5 |
| Figura 1.2 Sistema UV de depuración de agua. | 7 |
| Figura 1.3 Sistema de recirculación de agua. | 8 |
| Figura 1.4 Sistema de circulación abierta. | 9 |
| Figura 1.5 Instalación de depuración a pequeña escala. | 10 |
| Figura 1.6 Instalación de depuración a gran escala. | 11 |
| Figura 2.1 Diagrama de funcionamiento de la planta | 12 |
| Figura 2.2 Algoritmo de diseño para la planta de depuración. | 13 |
| Figura 2.3 Dimensiones del tanque de depuración. | 24 |
| Figura 2.4 Gavetas en el tanque de depuración. | 24 |
| Figura 2.5 Filtro de sedimentación. | 27 |
| Figura 3.1 Diagrama de la planta de depuración | 29 |
| Figura 3.2 Curva de la bomba SPARUS TM 160. | 31 |
| Figura 3.3 Filtro de arena Triton II modelo TR100. | 31 |
| Figura 3.4 Esquema del filtro de arena. | 32 |
| Figura 3.5 Tanque de almacenamiento | 33 |
| Figura 3.6 Zona de depuración. | 34 |
| Figura 3.7 Tanque de depuración. | 34 |
| Figura 3.8 Visibilidad del tramo de tubería enterrado en zona de abastecimiento. | 36 |
| Figura 3.9 Tramo de tubería enterrado. | 36 |
| Figura 3.10 Bomba Sparus Pentair. | 38 |
| Figura 3.11 Esterilizador de agua UV | 39 |
| Figura 3.12 Tubería de desagüe | 40 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Límites mínimos de salinidad recomendados, (Lee et al., 2010). | 3 |
| Tabla 1.2 Límites mínimos de temperatura recomendados, (Lee et al., 2010)..... | 4 |
| Tabla 2.1 Cargas máximas estipuladas, (Lee et al., 2010)..... | 16 |
| Tabla 2.2 Criterios de selección | 18 |
| Tabla 2.3 Evaluación por pares | 18 |
| Tabla 2.4 Peso de los criterios | 19 |
| Tabla 2.5 Valoración de los criterios para el sistema de circulación..... | 19 |
| Tabla 2.6 Matriz de decisión del sistema de circulación | 20 |
| Tabla 2.7 Valoración de los criterios para el tanque de almacenamiento..... | 20 |
| Tabla 2.8 Matriz de decisión para el tanque de almacenamiento | 21 |
| Tabla 2.9 Valoración de criterios para el sistema de recirculación | 22 |
| Tabla 2.10 Matriz de decisión para el sistema de recirculación..... | 22 |
| Tabla 2.11 Propiedades de la pintura epoxi | 25 |
| Tabla 2.12 Propiedades del acero | 25 |
| Tabla 2.13 Propiedades del concreto | 25 |
| Tabla 2.14 Comparación de métodos de desinfección del agua | 26 |
| Tabla 3.1 Simbología aplicada en el diagrama de la planta | 28 |
| Tabla 3.2 Requerimientos y recursos | 29 |
| Tabla 3.3 Resultados obtenidos | 30 |
| Tabla 3.4 Dimensiones del filtro de arena | 32 |
| Tabla 3.5 Pérdidas por cada 100 metros de tubería..... | 37 |
| Tabla 3.6 Metros agregados de tubería..... | 37 |
| Tabla 3.7 Potencia y cabezal de la bomba | 38 |
| Tabla 3.8 Características de la lámpara UV | 39 |

ÍNDICE DE PLANOS

| | |
|--|----|
| Plano 1 Lista de materiales sistema de abastecimiento | 63 |
| Plano 2 Lista de materiales sistema de abastecimiento | 64 |
| Plano 3 Dimensiones del tanque de abastecimiento | 65 |
| Plano 4 P&ID de la planta de depuración | 66 |
| Plano 5 P&ID tanque de abastecimiento | 67 |
| Plano 6 P&ID desagüe tanques de depuración | 68 |
| Plano 7 Dimensiones tanque de depuración | 69 |
| Plano 8 Dimensiones canales de desagüe..... | 70 |
| Plano 9 Dimensiones soporte para tubería de abastecimiento..... | 71 |
| Plano 10 Vista general de la planta | 72 |
| Plano 11 Vista general de la planta, medidas..... | 73 |
| Plano 12 Vista isométrica tuberías de abastecimiento | 74 |
| Plano 13 P&ID tanque 2 | 75 |
| Plano 14 P&ID tanque 3 | 75 |
| Plano 15 P&ID tanque 4 | 75 |
| Plano 16 P&ID tanque 5 | 75 |
| Plano 17 P&ID tanque 6 | 75 |
| Plano 18 P&ID tanque 7 | 75 |
| Plano 19 P&ID tanque 8 | 75 |
| Plano 20 P&ID tanque 9 | 75 |
| Plano 21 P&ID isométrico tuberías de tanques de depuración | 75 |
| Plano 22 Lista de materiales tanque de depuración..... | 75 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del problema

Se pretende desarrollar un modelo de depuración de moluscos bivalvos a nivel comercial con una capacidad de 50000 moluscos diarios, proyectado a satisfacer las necesidades de cooperativas de pescadores y/o de regiones costeras, adaptados a las condiciones particulares de dos comunidades.

1.2 Justificación del proyecto

El consumo de mariscos ha aumentado considerablemente en los últimos años. Éstos filtran el agua para su alimentación, por lo que concentran cantidades de contaminantes superiores al agua que los rodea, (Cosson, 2000). Los contaminantes, especialmente los microbianos, pueden generar afecciones en las personas, ya que los mariscos suelen ser ingeridos crudos o poco cocidos, (Crocì, Suffredini, Cozzi, & Toti, 2002; Formiga-Cruz et al., 2003; Lee, Lovatelli, & Ababouch, 2010; Rippey, 1994). Se recomienda una práctica adecuada a través de la cual los moluscos bivalvos pueden eliminar las sustancias tóxicas y microorganismos cuando son mantenidos en agua de mar limpia y desinfectada, (Arrieta-Montiel, Shedge, Davila, Christensen, & Mackenzie, 2009; El-Shenawy, 2004; Lee et al., 2010; Suñén & Sobsey, 1999; Wong et al., 2009). Mediante la depuración, los bivalvos pueden purgarse en un determinado tiempo, eliminando los contaminantes absorbidos durante su estancia en aguas abiertas, (El-Shenawy, 2004) y de los hidrocarburos de petróleo. La FAO (Food and Agriculture Organization) en 2010, publicó el Documento Técnico de Pesca 511, donde señala los aspectos fundamentales y prácticos de la depuración de moluscos bivalvos, (Lee et al., 2010). La cual consiste en la eliminación de contaminantes presentes en el tracto digestivo de los moluscos con el uso de agua de mar filtrada y desinfectada. A pesar de que en Ecuador no se demanda la depuración de los moluscos para su comercialización, es necesario establecer esta práctica para asegurar que su consumo se da en condiciones óptimas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar alternativas de un sistema de depuración, a escala comercial, para garantizar la inocuidad alimentaria de la Concha Prieta, mediante el proceso de diseño y dimensionamiento según pérdidas de carga.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar el proceso y ensamblaje de elementos de un sistema de depuración para moluscos bivalvos a nivel comercial mediante el uso de software de diseño 3D.
2. Calcular la capacidad de bombas, filtros, tuberías y otros, para la movilización de las aguas en el sistema a través de la aplicación de principios de ingeniería.
3. Calcular el costo de materiales, montaje, operación y mantenimiento de un sistema de depuración comercial mediante cotizaciones en empresas locales.
4. Evaluar diferentes alternativas de tanques y manejo de aguas en el sistema comercial a través de una matriz decisión.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Qué es la depuración

La principal función de este proceso es conseguir la limpieza del organismo del molusco, lo cual se logra mediante la inmersión de este en una determinada cantidad de agua de mar limpia sin contaminantes, de tal forma que el molusco expulse los contaminantes de su organismo al realizar su función natural de bombeo. El tiempo de inmersión puede llegar a variar según las normativas de la zona, las bacterias o virus a eliminar o incluso de la especie de moluscos, sin embargo, generalmente se utilizan 48 horas de inmersión si el diseño funciona perfectamente. El proceso además se realiza a presión atmosférica y es necesario el control de parámetros como salinidad, temperatura y oxígeno disuelto, los cuales pueden llegar ocasionar estrés o incomodidad en el individuo provocando una deficiente actividad de bombeo, (Lee et al., 2010).

1.4.2 Parámetros que controlan la depuración

Para obtener un sistema eficiente de depuración hay que tener en cuenta parámetros como la salinidad, ya que es necesario que los moluscos se encuentren en un medio dentro de los límites de salinidad adecuados (Tabla 1.1). Se recomienda que a los moluscos se les proporcione una cantidad de agua cuya salinidad no varíe más del 20% de la zona de recolección, (Lee et al., 2010).

Otro de los parámetros establecidos es la temperatura. A pesar de que exista un rango ideal de temperatura para que los moluscos realicen con efectividad su actividad de bombeo (Tabla 1.2), no se garantiza que en dicho rango se encuentre la temperatura necesaria para la inactivación o eliminación de virus o bacterias en el agua, por lo que es necesario llevar un análisis de ambos casos, (Lee et al., 2010).

Así también se considera el oxígeno disuelto, ya que se necesita una cantidad de oxígeno disuelto en el agua para que los moluscos realicen adecuadamente su función natural, se ha utilizado un 50% o 60% como valor mínimo recomendado, pero existe poca documentación científica para validar este valor.

Tabla 1.1 Límites mínimos de salinidad recomendados, (Lee et al., 2010).

| Especies | | Salinidad mínima (ppt) | País |
|------------------------------|-------------------|------------------------|-------------|
| Nombre científico | Nombre común | | |
| <i>Crassostrea gigas</i> | Ostión japonés | 20,51 | Reino Unido |
| <i>Ostrea edulis</i> | Ostra europea | 25 | Reino Unido |
| <i>Mytilus edulis</i> | Mejillón | 19 | Reino Unido |
| <i>Cerastoderma edule</i> | Berberecho común | 20 | Reino Unido |
| <i>Mercenaria mercenaria</i> | Chirla mecernaria | 20,5 | Reino Unido |
| <i>Tapes decussatus</i> | Almeja fina | 20,5 | Reino Unido |
| <i>Tapes philippinarum</i> | Almeja japonesa | 20,5 | Reino Unido |
| <i>Ensis spp.</i> | Navaja | 30 | Reino Unido |
| <i>Crassostrea iredalei</i> | Ostra rayada | 17,5 | Filipinas |
| | Ostra | 20 | Japón |

En general se recomienda una concentración de 5 mg/L para mejillones, pero para otras especies podría aumentar o disminuir, (Lee et al., 2010).

Tabla 1.2 Límites mínimos de temperatura recomendados, (Lee et al., 2010)

| Especies | | Temperatura | | País |
|------------------------------|-------------------|-------------|----------|-------------|
| Nombre científico | Nombre común | Inferior | Superior | |
| <i>Crassostrea gigas</i> | Ostión japonés | 8 | 18 | Reino Unido |
| <i>Ostrea edulis</i> | Ostra europea | 5 | 15 | Reino Unido |
| <i>Mytilus edulis</i> | Mejillón | 5 | 15 | Reino Unido |
| <i>Cerastoderma edule</i> | Berberecho común | 7 | 16 | Reino Unido |
| <i>Mercenaria mercenaria</i> | Chirla mecernaria | 12 | 20 | Reino Unido |
| <i>Tapes decussatus</i> | Almeja fina | 12 | 20 | Reino Unido |
| <i>Tapes philippinarum</i> | Almeja japonesa | 5 | 20 | Reino Unido |
| <i>Ensis spp.</i> | Navaja | 10 | - | Reino Unido |
| Sin especificar | Ostra | 10 | 25 | Est. Unidos |
| <i>Mya arenaria</i> | Almeja babosa | 2 | 20 | Est. Unidos |
| <i>Mercenaria mercenaria</i> | Chirla mercenaria | 10 | 20 | Est. Unidos |

1.4.3 Métodos de depuración del agua

La desinfección del agua dependerá de su calidad. Sin embargo, todo método para su tratamiento permite establecer un procedimiento a través del cual se asegure que posee las condiciones necesarias para su uso. En las plantas de depuración es muy usado el sistema UV. Además, se recomienda el uso de biofiltros y separadores de proteínas para reducir la concentración de subproductos metabólicos originados de los moluscos, éstos deben ser colocados antes del sistema de desinfección en caso de que algún microorganismo sea liberado del filtro, y así se inactive durante el tramo de desinfección, (Lee et al., 2010).

1.4.3.1 Sedimentación y filtración

El método de sedimentación (**Figura 1.1**) consiste en almacenar el agua recolectada en grandes tanques durante un determinado periodo de tiempo (hasta un día), esto permite que las partículas de gran tamaño se depositen en el fondo del tanque por efecto de la gravedad, y una vez ocurra eso se procede a tomar el agua mediante una llave de paso situada a varios centímetros por encima del fondo del tanque, (Lee et al., 2010).

El método de filtración consiste en permitir el flujo de agua a través de filtros que provoquen la retención de partículas de hasta $1\mu\text{m}$, lo cual eliminará bacterias y partículas asociadas, pero no virus, (Lee et al., 2010). Los filtros de arena requieren de limpieza periódica debido a que la suciedad en estos puede generar pérdidas de presión de hasta a 4 o 5 mca (metros de columna de agua), mientras las pérdidas se mantengan entre 1 a 3 mca se podrá omitir la limpieza, además se sabe que la velocidad de filtración estará entre 40 y 60 m^3/h por metro cuadrado de lecho filtrante, pero de la misma forma se verá reducida por la turbidez del agua o suciedad en el filtro, (Redondo, 2020).

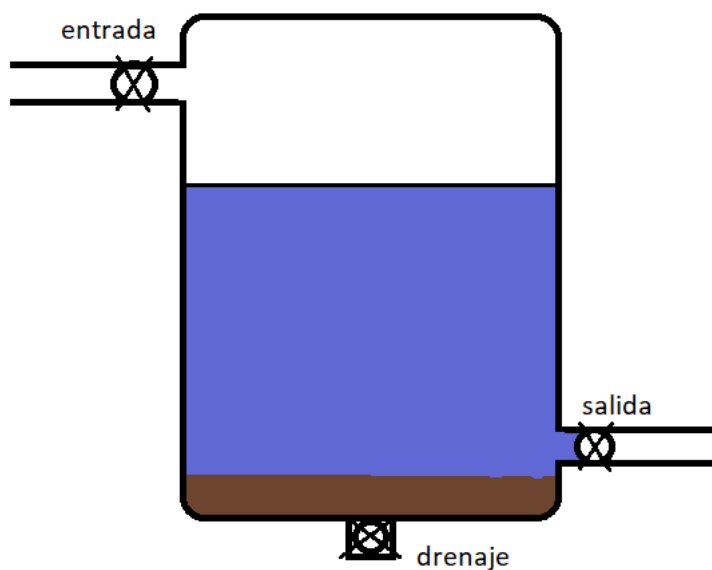


Figura 1.1 Tanque de sedimentación.

1.4.3.2 Luz ultravioleta

Este método consiste en circular el agua de trabajo a través de una lámpara que proporcionará luz UV, la cual presenta una longitud de onda entre 200 a 280 nm, dicho rango contiene un efecto germicida para varios virus y bacterias. Está compuesto por un tubo en el cual estará contenido la lámpara de desinfección dentro de una funda de cuarzo, el agua de mar pasará a través de dicho tubo. Se ha calculado una dosis mínima de 10 mW s cm^{-2} para medios en recirculación, este valor es equivalente a una lámpara de 30W en un sistema con 2200 litros de agua (**Figura 1.2**). Esto resulta bastante efectivo, pero su rendimiento puede verse reducido debido a la incrustación o aparición de manchas en la funda de cuarzo, lo cual provoca una reducción en la transmisividad de la luz, (Lee et al., 2010).

Para la cantidad de luz necesaria se propone la ecuación 1.1:

$$\text{Dosificación} = \text{Intensidad} * \text{Tiempo de Retención} \quad (1.1)$$

Donde:

Intensidad: Cantidad de energía emitida por la lámpara UV seleccionada [mW cm^{-2}].

Tiempo de retención: Tiempo en el que el agua tratada estará sometida a la energía de la lámpara UV [s].

Dosificación: Cantidad de luz necesaria [mW s cm^{-2}].

La dosificación necesaria también dependerá de los microorganismos presentes y la cantidad que se requiera eliminar de estos, además del proceso por el que se someta para causar su inactivación, por ende, resulta útil tener en cuenta la ecuación 1.2:

$$N = N_0 e^{-KD} \quad (1.2)$$

Donde:

N_0 : Número inicial de microorganismos.

N : Número final de microorganismo.

K : Constante de velocidad de inactivación.

D : Dosificación.

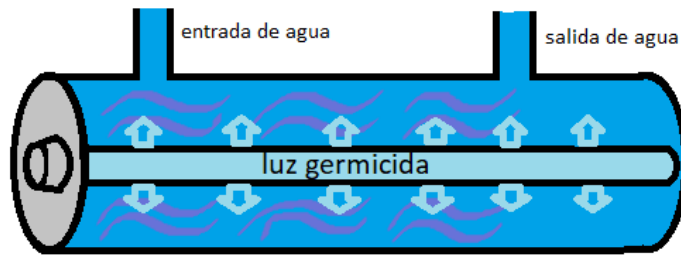


Figura 1.2 Sistema UV de depuración de agua.

1.4.3.3 Cloración

Este método consiste en la adición de una determinada cantidad de cloro según los litros de agua que se desee desinfectar. Aunque, muestra desventajas, como un efecto residual que podría verse afectado en el organismo del molusco, además esta sustancia genera subproductos tóxicos como ácidos haloacéticos, halógenos orgánicos disueltos y trihalometanos, los cuales podrían llegar a ser cancerígenos en concentraciones de 0.1 mg L^{-1} , (Rossel Bernedo & Ferro Mayhua, 2020). Para la depuración se utiliza de 2 a 3 mg L^{-1} de cloro libre con un tiempo de contacto de una hora, (Lee et al., 2010). Utilizando dicho dato es posible determinar la cantidad de cloro a añadir con la ecuación 1.3:

$$V_a = \frac{C_f * V_t}{C} \quad (1.3)$$

Donde:

V_a : Cantidad de volumen a añadir [L].

C_f : Concentración final requerida [mg/L].

V_t : Volumen del tanque [L].

C : Concentración de la solución madre [mg/L].

Antes del uso del agua desinfectada se utiliza tiosulfato de sodio para reducir el nivel de concentración a una cantidad menor a 0.1 mg L^{-1} y de esa forma no represente un peligro para el consumo ni genere un estrés en el molusco, (Lee et al., 2010).

1.4.4 Sistema de recirculación de agua

Este método consiste en reutilizar el agua mediante un sistema de tuberías y bombas, en donde el ambiente es controlado. Una vez que el agua se introduce en el tanque, es succionada por una tubería a través de unos filtros los cuales se encargan de retener y remover las partículas sólidas, posteriormente es llevado al sistema UV para su desinfección y nuevamente es ingresado al tanque (Figura 1.3). Este proceso también puede incorporar un sistema de oxigenación en caso de que la aspersion no proporcione suficiente oxígeno. Los principales parámetros por controlar en este sistema son la temperatura, salinidad, pH, alcalinidad, composición química y oxígeno disuelto, (Galli, Facundo, & Sal, 2007).

1.4.5 Sistema de circulación abierta

En los sistemas de circulación abierta existe una toma constante de agua de mar para su circulación a través de los tanques de depuración, los cuales estarán debidamente colocados en paralelo con el fin de evitar que haya una recontaminación de los moluscos sometidos al proceso de purificación. La descarga de agua se lleva a cabo en un punto alejado de la toma de agua correspondiente (Figura 1.4), para impedir que los desechos producidos ingresen nuevamente a la planta a través de la tubería de succión, (Lee et al., 2010).

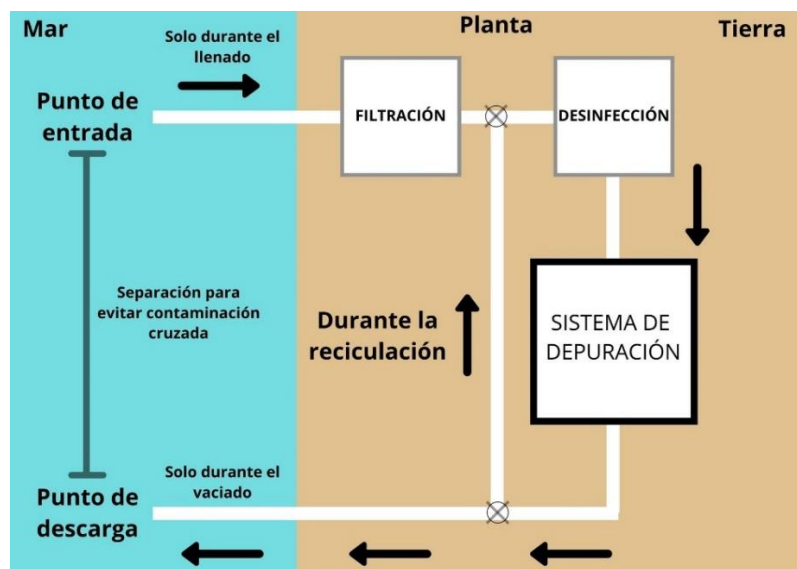


Figura 1.3 Sistema de recirculación de agua.

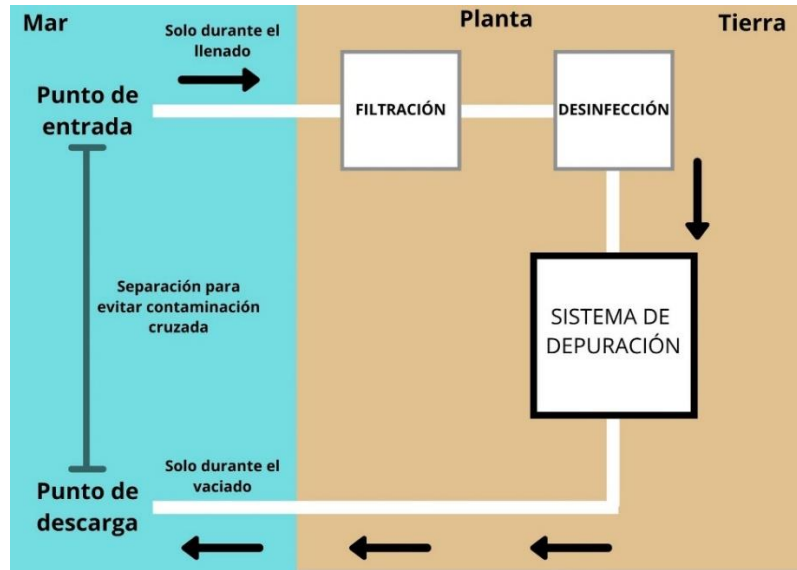


Figura 1.4 Sistema de circulación abierta.

1.4.6 Enfermedades relacionadas con los moluscos bivalvos

En la actualidad existen diversos estudios que se han realizado para optimizar el tratamiento de los moluscos. El desarrollo de estas investigaciones ha arrojado resultados sobre el impacto de los parásitos en el ambiente de cultivo de los moluscos, observando una alteración en las interacciones producidas en ambientes intermareales, (Coen & Bishop, 2015).

Una de las enfermedades más conocidas entre los moluscos es la gastroenteritis vírica provocada por el Norovirus, a esta se le puede agregar las infecciones provocadas por patógenos como el *Vibrio parahaemolyticus* y *Vibrio vulnificus*, éstas últimas con mayor incidencia en los Estados Unidos de Norteamérica, (Lee et al., 2010).

Existen estudios en los que se analiza la conservación, restauración y evaluación económica de las ostras, (Baggett et al., 2015; Beck et al., 2011; Grabowski et al., 2012), teniendo los mismos importante relevancia, ya que estos moluscos deben pasar por un proceso de depuración para evitar la proliferación de enfermedades producidas por su consumo, debido a que las ostras son consumidas crudas.

1.4.7 Consideraciones generales de la planta de depuración

La planta debe estar diseñada para impedir que existan contaminantes que puedan perjudicar el proceso de purificación de los bivalvos. Dependiendo de la disposición de ésta es recomendable que las áreas se encuentren divididas físicamente de otras, por medio de paredes y puertas de acceso en caso de ser una planta de depuración a gran escala, con el fin de poder controlar los diferentes procesos que se realizan dentro, (Lee et al., 2010). En la Figura 1.5 se muestra una planta de depuración de pequeña escala con un solo tanque de depuración, donde todos los equipos se encuentran en la misma zona, sin separaciones ni divisiones. En la Figura 1.6 se muestra una planta a gran escala, a diferencia de la anterior, aquí se muestran varios tanques de depuración, lo que hace necesario realizar divisiones en la zona para separar los equipos a usar antes de la depuración, de los equipos a usar después de la depuración.

Así también, las superficies de los componentes de la planta que estén en contacto directo con el agua deben cumplir con consideraciones como no presentar toxicidad y ser resistentes a la corrosión, puesto que esto puede perjudicar y contaminar a los moluscos que necesitan depurarse. Para esto se recomienda el uso de componentes fabricados con materiales como plástico, hierro fundido y ciertos tipos de aceros inoxidable; además se sugiere que no se apliquen componentes fabricados con latón o acero dulce, (Helm, 2006).

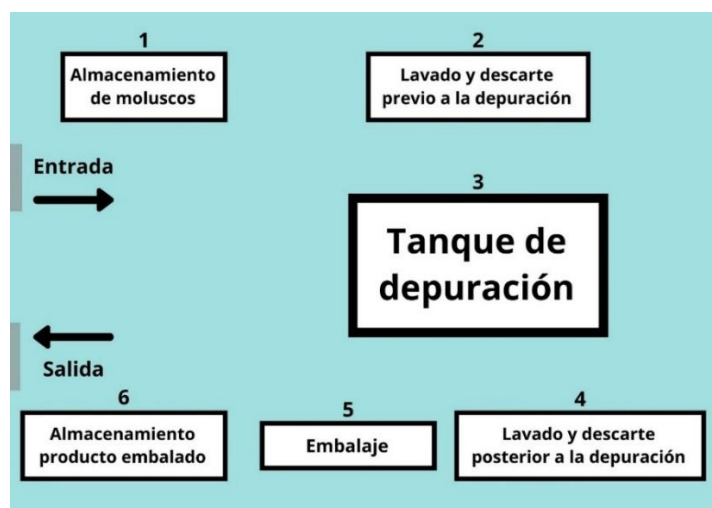


Figura 1.5 Instalación de depuración a pequeña escala.

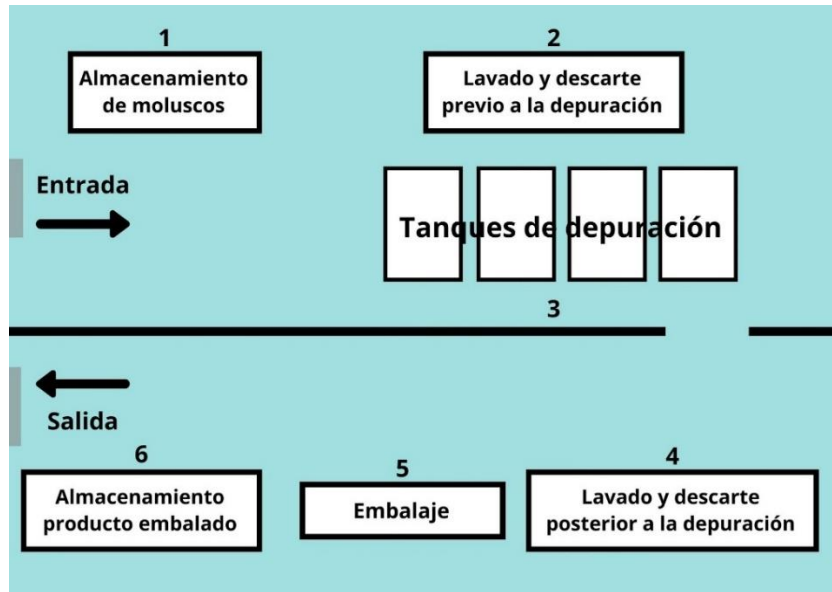


Figura 1.6 Instalación de depuración a gran escala.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Se realiza un análisis de los diferentes aspectos que intervienen en el diseño de la planta para plantear alternativas de solución según los requerimientos del cliente y las necesidades del sistema. Tomando en cuenta las condiciones idóneas que permitan a los moluscos expulsar los contaminantes que absorbieron durante su estancia en el mar, se establecen diferentes consideraciones que deben ser sometidas a selección para determinar un diseño que cumpla con los objetivos de la depuración a través del funcionamiento de la planta (ver **Figura 2.1**). Así también se detalla el algoritmo de diseño (ver **Figura 2.2**).

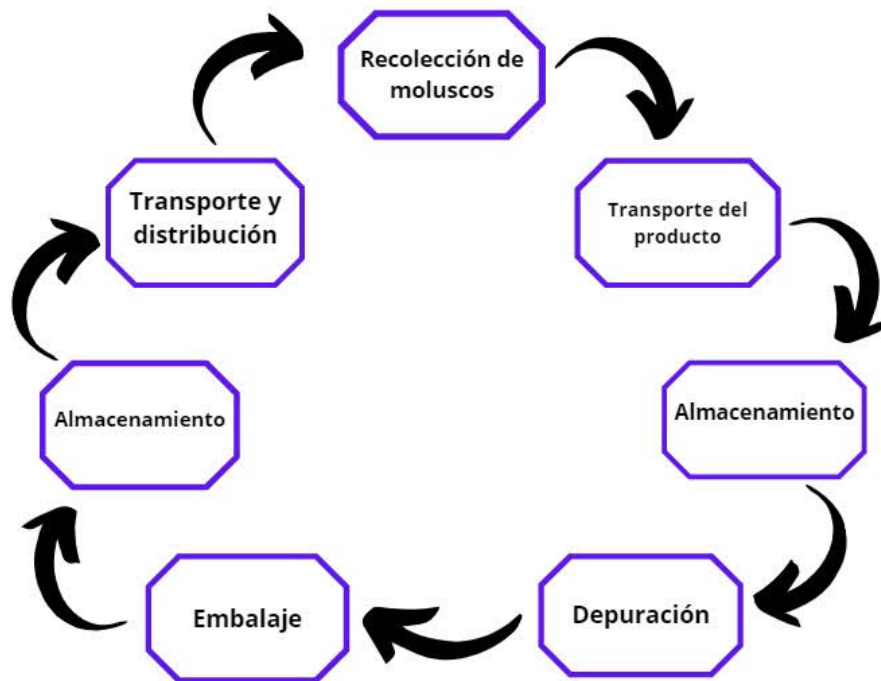


Figura 2.1 Diagrama de funcionamiento de la planta

2.1 Metodología del diseño

Se establecen diferentes pasos para lograr los objetivos planteados según los requerimientos necesarios para el diseño del sistema más eficiente y económico, tomando en cuenta a la vez, el uso de materiales amigables al

ambiente, reciclables o de larga vida útil, con el fin de evitar contaminación por chatarras o desechos similares.

2.2 Requerimientos del sistema

Es necesario la consideración de diferentes aspectos técnicos que intervienen en el proceso de diseño de la planta. Entre estos tenemos la calidad del agua de mar, la cual debe presentar condiciones óptimas para llevar a cabo la depuración, como lo son: salinidad, oxigenación, pH, turbidez y virus o bacterias presentes.

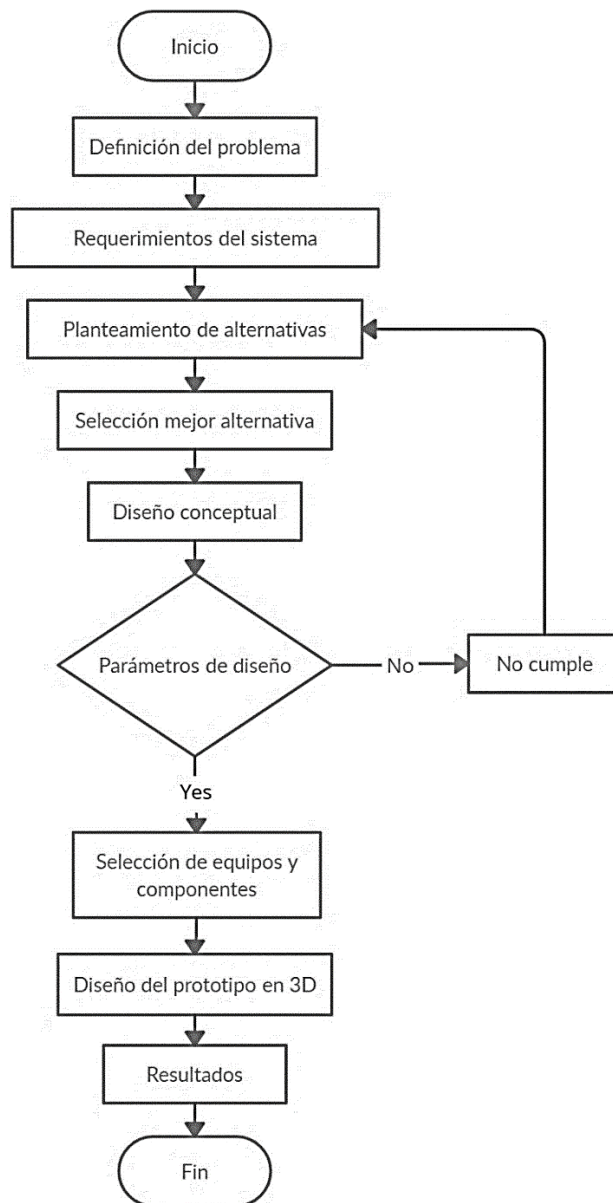


Figura 2.2 Algoritmo de diseño para la planta de depuración

2.2.1 Parámetros de diseño

Se establecen los parámetros de diseño más importantes según los requerimientos del cliente y las necesidades de la planta, estos son:

2.2.1.1 Costos de fabricación y operación

Es necesario que los costos de instalación y operación sean lo más accesibles posible. Debido a la gran cantidad de moluscos a depurar al día, se optó por la fabricación de los tanques de depuración con el fin de abarcar un mayor volumen de moluscos por tanque y evitar el uso excesivo de equipos o la necesidad de equipos fuera del mercado nacional.

2.2.1.2 Eficiencia del sistema

Al tratarse de una cantidad relativamente grande de moluscos, es necesario llevar el control en la relación calidad-precio del sistema, por lo que se optó por utilizar los diseños establecidos por la FAO, los cuales se encuentran estandarizados, (Lee et al., 2010).

2.2.1.3 Manejo del sistema

Debido a que el sistema se maneja de manera semiautomática, solo será requerido únicamente dos personas con un nivel de formación técnico o de bachillerato para el control del proceso, ya que basta con el uso de bombas e instrumentos de medición, y la colocación y extracción de moluscos. El ciclo empezará una vez los moluscos se hayan colocado en gavetas plásticas y una vez terminado el periodo de depuración, se retirarán las gavetas con los moluscos para introducirse otro grupo y empezar nuevamente el ciclo.

2.2.1.4 Confiabilidad del funcionamiento

Los moluscos necesitan un periodo mínimo de depuración de 24 horas aproximadamente, (Lee et al., 2010). Debido a esto es requerido que haya una circulación de agua constante para garantizar un medio sin contaminantes para los moluscos, por lo que el sistema deberá garantizar su funcionamiento continuo. El tipo de sistema por elegir no contará con un sistema de respaldo, por lo que es necesario optar por aquel que garantice un funcionamiento continuo hasta realizar el mantenimiento programado. Sin embargo, se contarán con sensores para las

mediciones de caudal, temperatura, salinidad, etc., los cuales serán mencionados en el capítulo 3.

2.2.2 Análisis de alternativas

Se analizaron alternativas para la configuración del sistema de circulación y para el diseño de los tanques. El material de los tanques fue elegido debido a las necesidades de manejar grandes volúmenes de agua y por ende el uso de tanques con dimensiones poco usuales en el mercado local, mientras que el sistema de desinfección del agua fue dado como requerimiento del cliente.

2.2.2.1 Alternativas de diseño del sistema

Alternativa A: Sistema de circulación abierto

Este tipo de sistema consta de una bomba de alimentación que abastece a los respectivos tanques de depuración a través de un sistema de tuberías (**Figura 1.4**). Si se diseña para más de un tanque de depuración, estos deben estar conectados en paralelo para evitar que el agua contaminada por la depuración de los primeros tanques pase a los tanques posteriores (**Figura 1.6**). El abastecimiento de agua debe hacerse bajo previo análisis de calidad del agua, en donde se examina la salinidad, pH, oxigenación, turbidez y virus o bacterias presentes.

Otro de los factores a tomar en cuenta para este diseño es la disponibilidad del agua de mar debido a los cambios en la marea con una variación de 3 metros entre marea alta y baja. Así también se debe tener en cuenta que la zona de descarga del agua procedente de los tanques de depuración se debe realizar en una zona alejada de la toma de agua para evitar que el agua contaminada reingrese a la planta.

Alternativa B: Sistema de circulación cerrado

Este tipo de sistema consta de una bomba de alimentación que abastece a los tanques de almacenamiento que son llenados aprovechando las mareas altas, abastece a los tanques de depuración a través de un sistema de tuberías, tomando en cuenta el mismo criterio de diseño en paralelo mencionado en la alternativa A. El abastecimiento de agua debe hacerse bajo previo análisis de la calidad del agua, en donde se examina

la salinidad, pH, oxigenación, turbidez y virus o bacterias presentes (**Figura 1.3**).

Se tiene un mayor control de la calidad del agua con la que se abastece a los tanques de depuración, previniendo la contaminación por factores externos que pueden ser provocados por desagües municipales o líquidos industriales y demás. Esto se debe a que parte del agua es reutilizada y cuenta con un sistema de desinfección a través de filtros y tratamiento con rayos UV.

2.2.2.2 Alternativas para el diseño de los tanques de depuración

En cuanto al diseño de los tanques de depuración se elegirá entre dos opciones las cuáles son el sistema a gran escala y el sistema a media escala, los detalles de todos los tipos de sistemas se detallan en la **Tabla 2.1**.

Alternativa A: Diseño a mediana escala

Se manejará una menor cantidad de agua y moluscos por tanque de depuración, este diseño presentará menores dimensiones por tanque por lo que será más sencillo el manejo, sin embargo, serán necesarios mayores costos al necesitarse más unidades y equipos.

Alternativa B: Diseño a gran escala

Manejará mayores cantidades de agua y moluscos por tanque de depuración, ello generará menores costos de inversión y operación al necesitar menor cantidad de tanques, sin embargo, también provocará una mayor dificultad en el manejo, colocación y extracción de gavetas.

Tabla 2.1 Cargas máximas estipuladas, (Lee et al., 2010).

| Tipo de Sistema | Mejillón | Berberecho | Ostra | Almeja | Chirla | Navaja |
|----------------------------------|----------|------------|---------|--------|--------|--------|
| Pequeña escala 500-600 Litros | 90 kg | 30 kg | 750 kg | 56 kg | 72 kg | 40 kg |
| Media escala 2000-2500 Litros | 750 kg | 110 kg | 4150 kg | 500 kg | 650 kg | 145 kg |

| | | | | | | |
|---|---------|--------|----------|---------|---------|--------|
| Gran escala 4000-4500 Litros | 1500 kg | 220 kg | 12000 kg | 1000 kg | 1300 kg | 290 kg |
| Contenedor 1100 Litros | 300 kg | - | - | - | - | - |
| Pila vertical 650 Litros sumidero total 16 cajas | 240 kg | 80 kg | 2000 kg | 168 kg | 216 kg | 105 kg |

2.2.2.3 Alternativas de diseño del tanque de almacenamiento

Alternativa A: Tanque de concreto a nivel del suelo

Este diseño consta de un tanque de almacenamiento de concreto a nivel del suelo, usando las bombas de recirculación tanto para el llenado de los tanques de depuración como para su vaciado.

Alternativa B: Tanque de concreto elevado

Con el uso de un tanque de almacenamiento elevado se asegura que el llenado de los tanques de depuración se realice por gravedad, evitando el uso de las bombas de recirculación.

Alternativa C: Tanques de polietileno

El uso de tanques de almacenamiento de polietileno elevados asegura que el llenado de los tanques de almacenamiento se realice por gravedad, evitando el uso de las bombas de recirculación.

2.3 Selección de alternativas

2.3.1 Matriz de decisión para el sistema de circulación

Para la selección del sistema de circulación más conveniente en el funcionamiento de la planta tomamos en cuenta los parámetros de diseño a través de los aspectos considerados más fundamentales. En la Tabla 2.2 se observa que los aspectos relacionados se subdividen en varios criterios a los cuales se les asigna un código.

Tabla 2.2 Criterios de selección

| ASPECTO | CRITERIO | CÓDIGO |
|-----------|-------------------|--------|
| Técnico | Instalación | A |
| | Mantenimiento | B |
| | Operación | C |
| Económico | Costos | D |
| Ambiental | Contaminación | E |
| Humano | Riesgos laborales | F |

Instalación: Se evaluará la factibilidad de instalación del sistema.

Mantenimiento: Se evaluará el grado de dificultad o coste de mantenimiento.

Operación: Se evaluará la facilidad de uso por parte de los operarios o encargados del sistema.

Costos: Se evaluará los costos tanto por operación como por implementación.

Contaminación: Se evaluará la contaminación que el sistema produzca según su intervención en el mar.

Riesgos laborales: Se evaluará riesgos laborales como altura de trabajo, posibles tropiezos con la red de tubería, caídas, etc.

Estos criterios son analizados de acuerdo a una evaluación por pares (**Tabla 2.3**), en la cual los valores asignados según su relación son los siguientes:

- 0 para criterios sin relación.
- 1 para criterios con relación intermedia.
- 2 para criterios con relación fuerte.

Tabla 2.3 Evaluación por pares

| CRITERIO | A | B | C | D | E | F | CALIFICACIÓN |
|----------|---|---|---|---|---|---|--------------|
| A | - | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 8 |
| B | 1 | - | 2 | 2 | 1 | 1 | 7 |
| C | 2 | 2 | - | 2 | 2 | 1 | 9 |
| D | 2 | 2 | 2 | - | 0 | 0 | 6 |
| E | 1 | 1 | 1 | 0 | - | 0 | 3 |
| F | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | - | 4 |

Según la evaluación realizada entre los criterios, se observa que el criterio con mayor peso es el de 'operación' de la planta con 24%, mientras que el criterio de menor peso es el de contaminación con 8% (**Tabla 2.4**).

Tabla 2.4 Peso de los criterios

| CRITERIO | CÓDIGO | CALIFICACIÓN | PESO [%] |
|-------------------|--------|--------------|----------|
| Instalación | A | 8 | 0,22 |
| Mantenimiento | B | 7 | 0,19 |
| Operación | C | 9 | 0,24 |
| Costos | D | 6 | 0,16 |
| Contaminación | E | 3 | 0,08 |
| Riesgos laborales | F | 4 | 0,11 |
| TOTAL | | 37 | 1 |

En la **Tabla 2.5** se realiza una valoración de los criterios según su conveniencia para la selección de la mejor alternativa, con la siguiente calificación:

- 9 alto
- 5 medio
- 1 bajo

En la **Tabla 2.6** se observa el final de la matriz de decisión, en donde se realiza la evaluación respectiva para cada alternativa propuesta. Obteniendo como resultado que la alternativa con los criterios más idóneos es la alternativa B, la cual considera el diseño de un sistema de recirculación o circulación cerrada.

Tabla 2.5 Valoración de los criterios para el sistema de circulación

| CRITERIO | | VALORACIÓN | A | B |
|----------|-------------|----------------|----|----|
| T1 | Instalación | Complejidad | 5 | 5 |
| | | Equipos | 1 | 5 |
| | | Abastecimiento | 1 | 9 |
| | | Área | 5 | 9 |
| | | TOTAL | 12 | 28 |

| | | | | |
|----|------------------|---------------------------|----|----|
| T2 | Mantenimiento | Complejidad | 5 | 5 |
| | | Tipos de mantenimiento | 1 | 1 |
| | | Equipos | 5 | 5 |
| | | TOTAL | 11 | 11 |
| T3 | Operación | Complejidad | 5 | 9 |
| | | Equipos | 5 | 5 |
| | | TOTAL | 10 | 14 |
| E1 | Costos | Equipos | 5 | 5 |
| | | Tiempos | 9 | 9 |
| | | Consumo | 5 | 9 |
| | | TOTAL | 19 | 23 |
| A1 | Contaminación | Nivel (alto, medio, bajo) | 5 | 5 |
| H1 | Riegos laborales | Nivel (alto, medio, bajo) | 5 | 5 |

Tabla 2.6 Matriz de decisión del sistema de circulación

| CRITERIOS | T1 | T2 | T3 | E1 | A1 | H1 | GRADO DE SATISFACCIÓN |
|-----------|----------|------|------|------------|-----------|--------|-----------------------|
| | | 0,22 | 0,19 | 0,24 | 0,16 | 0,08 | 0,11 |
| SOLUCIÓN | TÉCNICOS | | | ECONÓMICOS | AMBIENTAL | HUMANO | TOTAL |
| A | 2,59 | 2,08 | 2,43 | 3,08 | 0,41 | 0,54 | 11,14 |
| | 12 | 11 | 10 | 19 | 5 | 5 | |
| B | 6,05 | 2,08 | 3,41 | 3,73 | 0,41 | 0,54 | 16,22 |
| | 28 | 11 | 14 | 23 | 5 | 5 | |

2.3.2 Matriz de decisión para el tanque de almacenamiento

Para la selección del diseño del tanque de almacenamiento se mantienen los criterios de selección establecidos en la **Tabla 2.2**, así como la evaluación por pares y sus respectivos pesos según la **Tabla 2.3** y **Tabla 2.4**. Para continuar, se realiza la valoración de los criterios en la **Tabla 2.7**.

Tabla 2.7 Valoración de los criterios para el tanque de almacenamiento

| CRITERIO | | VALORACIÓN | A | B | C |
|----------|-------------|----------------|---|---|---|
| T1 | Instalación | Complejidad | 1 | 5 | 5 |
| | | Equipos | 5 | 5 | 9 |
| | | Abastecimiento | 5 | 5 | 5 |
| | | Área | 1 | 9 | 9 |

| | | | | | |
|----|------------------|---------------------------|----|----|----|
| | | TOTAL | 12 | 24 | 28 |
| T2 | Mantenimiento | Complejidad | 5 | 5 | 5 |
| | | Tipos de mantenimiento | 1 | 1 | 5 |
| | | Equipos | 5 | 5 | 5 |
| | | TOTAL | 11 | 11 | 15 |
| T3 | Operación | Complejidad | 1 | 9 | 5 |
| | | Equipos | 5 | 5 | 1 |
| | | TOTAL | 6 | 14 | 6 |
| E1 | Costos | Equipos | 5 | 5 | 1 |
| | | Tiempos | 9 | 5 | 5 |
| | | Consumo | 5 | 9 | 9 |
| | | TOTAL | 19 | 19 | 15 |
| A1 | Contaminación | Nivel (alto, medio, bajo) | 5 | 5 | 5 |
| H1 | Riegos laborales | Nivel (alto, medio, bajo) | 9 | 5 | 5 |

Tabla 2.8 Matriz de decisión para el tanque de almacenamiento

| CRITERIOS | T1 | T2 | T3 | E1 | A1 | H1 | GRADO DE SATISFACCIÓN |
|-----------|----------|------|------|------------|-----------|--------|-----------------------|
| | | 0,22 | 0,19 | 0,24 | 0,16 | 0,08 | 0,11 |
| SOLUCIÓN | TÉCNICOS | | | ECONÓMICOS | AMBIENTAL | HUMANO | TOTAL |
| A | 2,59 | 2,08 | 1,46 | 3,08 | 0,41 | 0,97 | 10,59 |
| | 12 | 11 | 6 | 19 | 5 | 9 | |
| B | 5,19 | 2,08 | 3,41 | 3,08 | 0,41 | 0,54 | 14,70 |
| | 24 | 11 | 14 | 19 | 5 | 5 | |
| C | 6,05 | 2,84 | 1,46 | 2,43 | 0,41 | 0,54 | 13,73 |
| | 28 | 15 | 6 | 15 | 5 | 5 | |

De acuerdo a la **Tabla 2.8** se obtiene como resultado que la mejor alternativa es la B, la cual consiste en un tanque de concreto elevado.

2.3.3 Matriz de decisión del sistema de recirculación

Se mantienen los criterios de selección establecidos en la **Tabla 2.2**, la evaluación por pares de la **Tabla 2.3** y sus respectivos pesos de la **Tabla 2.4**. La valoración de los criterios para esta matriz se observa en la **Tabla 2.9**.

Tabla 2.9 Valoración de criterios para el sistema de recirculación

| CRITERIO | | VALORACIÓN | A | B |
|----------|------------------|---------------------------|----|----|
| T1 | Instalación | Complejidad | 5 | 9 |
| | | Equipos | 5 | 9 |
| | | Abastecimiento | 5 | 5 |
| | | Área | 5 | 9 |
| | | TOTAL | 20 | 32 |
| T2 | Mantenimiento | Complejidad | 5 | 5 |
| | | Tipos de mantenimiento | 5 | 5 |
| | | Equipos | 5 | 5 |
| | | TOTAL | 15 | 15 |
| T3 | Operación | Complejidad | 1 | 5 |
| | | Equipos | 5 | 5 |
| | | TOTAL | 6 | 10 |
| E1 | Costos | Equipos | 5 | 9 |
| | | Tiempos | 9 | 9 |
| | | Consumo | 5 | 9 |
| | | TOTAL | 19 | 27 |
| A1 | Contaminación | Nivel (alto, medio, bajo) | 5 | 5 |
| H1 | Riegos laborales | Nivel (alto, medio, bajo) | 5 | 5 |

Tabla 2.10 Matriz de decisión para el sistema de recirculación

| CRITERIOS | T1 | T2 | T3 | E1 | A1 | H1 | GRADO DE SATISFACCIÓN |
|-----------|----------|------|------|------------|-----------|--------|-----------------------|
| | 0,22 | 0,19 | 0,24 | 0,16 | 0,08 | 0,11 | 1,00 |
| SOLUCIÓN | TÉCNICOS | | | ECONÓMICOS | AMBIENTAL | HUMANO | TOTAL |
| A | 4,32 | 2,84 | 1,46 | 3,08 | 0,41 | 0,54 | 12,65 |
| | 20 | 15 | 6 | 19 | 5 | 5 | |
| B | 6,92 | 2,84 | 2,43 | 4,38 | 0,41 | 0,54 | 17,51 |
| | 32 | 15 | 10 | 27 | 5 | 5 | |

Según los resultados de la **Tabla 2.10**, la mejor opción para el diseño es el sistema a gran escala de depuración de moluscos. Pues se observa que el sistema a gran escala asegura un menor costo tanto en la fabricación como en la operación.

2.3.4 Diseño propuesto

2.3.4.1 Tanque de depuración

Los tanques presentarán un volumen de agua entre los 4000 y 4500 litros, mientras que la carga máxima de moluscos a depurar será 1000 Kg considerando el caso de la almeja, siendo este molusco el que presenta una mayor similitud con la concha prieta.

Además, se requerirá un tanque rectangular cuya longitud no triplique el ancho y con una altura relativamente baja, esto permitirá un flujo de agua constante y evitará puntos muertos, (Lee et al., 2010). El número de moluscos a depurar por tanque dependerá de la cantidad de gavetas que puedan ser introducidas tomando en cuenta la distancia de separación que debe existir entre dos filas de gavetas. Las gavetas serán las superficies plásticas en donde se colocarán los moluscos.

2.3.4.2 Dimensiones del tanque

Se propone utilizar tanques con 120 cm de altura, 180 cm de ancho y 390 cm largo (**Figura 2.3**), como se puede observar, estas dimensiones cumplen la condición estipulada por la FAO que indica que la longitud no triplique el ancho del tanque, además la altura fue determinada tomando en cuenta una separación entre gavetas de 8 cm y un apilado de 3 gavetas como se utiliza tradicionalmente.

2.3.4.3 Carga del tanque

Las gavetas por usar tendrán dimensiones de $40 \times 60 \times 13 \text{ cm}^3$ con lo cual se tendrá un máximo de 8 gavetas a lo largo, 2 cestas a lo ancho y 3 filas, resultando en 48 gavetas por tanque de depuración, adicionalmente se verificará la carga máxima permitida por este sistema, la cual es de 220 Kg de moluscos para una capacidad de 4000 a 4500 litros (**Figura 2.4**). Cabe mencionar que dicha carga es referente al caso más desfavorable, tratándose de la depuración del berberecho como molusco a depurar.

2.3.4.4 Material del tanque

Debido a la necesidad de construir los tanques de depuración para evitar el uso excesivo de equipos, no se realizó el proceso de selección del material y se eligió concreto reforzado, ya que se encuentra disponible en el mercado local y no está limitado por dimensiones comerciales, en

la **Tabla 2.12** y **Tabla 2.13** se indican las propiedades del acero de refuerzo y del concreto.

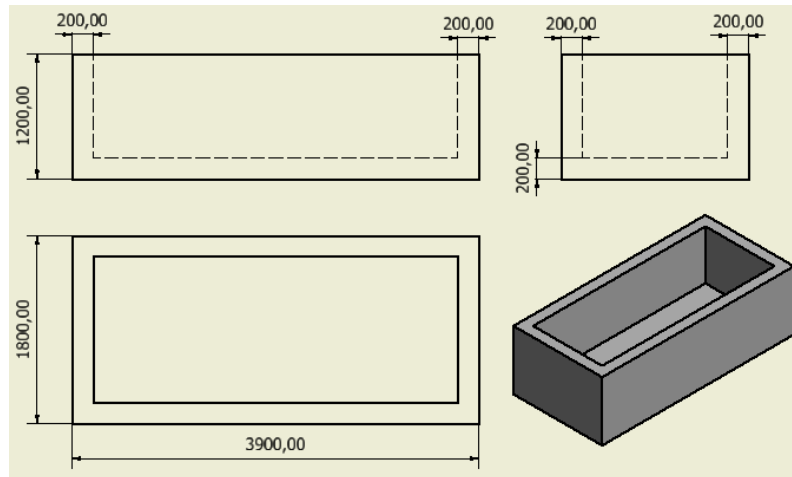


Figura 2.3 Dimensiones del tanque de depuración

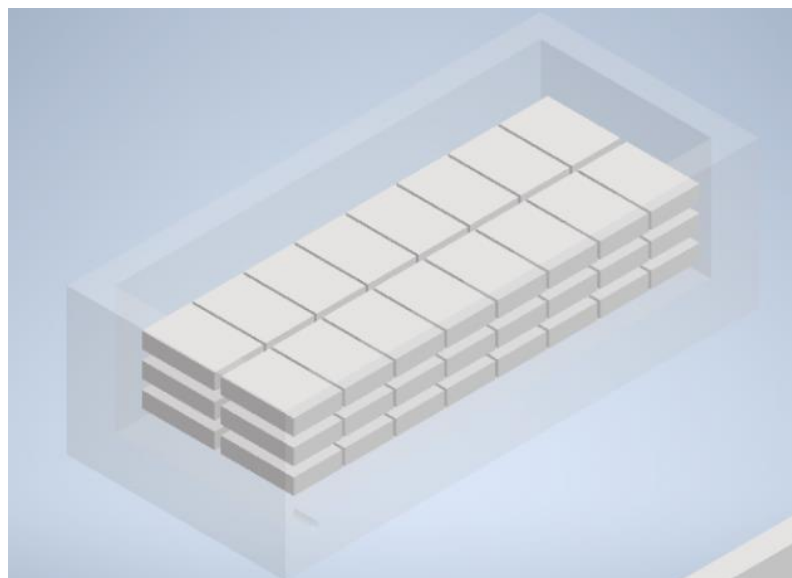


Figura 2.4 Gavetas en el tanque de depuración

Al tratarse de un sistema que requiere mantener el agua desinfectada y sin contaminantes durante todo el proceso, se añadirá un recubrimiento de pintura epoxi (**Tabla 2.11**) con lo cual se garantiza tener una superficie

altamente resistente a sustancias corrosivas como lo es el agua salada de mar, esta solución también recomienda la FAO, donde indica que los tanques de concreto deben de ser cubiertos por resina epoxi, (Lee et al., 2010).

Tabla 2.11 Propiedades de la pintura epoxi

| Propiedad/método | Valor | Unidad |
|--------------------------------------|---------------|---------|
| Componente A | | |
| Densidad (ASTM D 1475) | 5.63-5.73 | Kg/gal |
| Componente B | | |
| Densidad (ASTM D 1475) | 3.33-3.43 | Kg/gal |
| | | |
| Relación de mezcla A:B | 3:01 | Volumen |
| Vida útil de mezcla | 5-jun | h |
| Acabado de la mezcla | semibrillante | |
| Temperatura de servicio en seco | 5-120 | °C |
| Temperatura de servicio de inmersión | 70 | °C |
| Secamiento al tacto (25 °C y 60%HR) | 2-abr | h |
| Secamiento al manejo (25 °C y 60%HR) | 6-dic | h |
| Cuadro para pruebas | 72 | h |
| VOC | 400-500 | g/L |

Tabla 2.12 Propiedades del acero

| Barra de refuerzo | | | |
|---------------------|--------------|--|---------------------------------------|
| Especificación ASTM | Grado o tipo | Resistencia mínima a la fluencia (MPa) | Resistencia mínima a la tensión (MPa) |
| A615 | 40 | 280 | 420 |

Tabla 2.13 Propiedades del concreto

| Concreto | | | |
|--------------|--|-----------------------------|--------------------------------------|
| Tipo de peso | Resistencia mínima a la compresión (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | Peso específico (KN/m ³) |
| Normal | 16 | 8430 | 18.8 |

2.3.4.5 Mecanismo de desinfección del agua

Se optó por utilizar el sistema UV para la desinfección del agua al tratarse de uno de los métodos con mayor eficacia por sobre los demás (**Tabla 2.14**). Este sistema requerirá de una lámpara UV con una emisión de luz de alrededor de los 254nm de longitud de onda, lo cual se encuentra dentro del rango germicida y se ha comprobado una mayor eficacia al acercarse a este valor. Además del rango germicida es importante tener en cuenta la velocidad de flujo y turbidez del agua al momento de seleccionar una lámpara, ya que una velocidad mayor a la indicada por el proveedor provocará que el agua no se esterilice en su totalidad.

Tabla 2.14 Comparación de métodos de desinfección del agua

| Operación/Condición | Luz ultravioleta | Cloro/compuesto clorado | Ozono |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|
| Costos de capital | Bajos | Medios | Elevados |
| Costos operativos | Los más bajos | Bajos | Elevados |
| Instalación | Simple | Compleja | Compleja |
| Facilidad de mantenimiento | Fácil | Moderada | Difícil |
| Costos de mantenimiento | Bajos | Medios | Elevados |
| Funcionamiento | Excelente | Posible crecimiento | No fiable |
| Claridad de la fuente de agua | Elevado | Baja | Media |
| Efecto viricida | Bueno | Malo | Bueno |
| Riesgo para el personal | Medio (ojos, piel) | Elevado | Medio (oxidante) |
| Toxicidad química | No | Sí | Sí |
| Efecto residual | No | Si | Algo |
| Efecto sobre el agua | Ninguno | Trihalometanos | Subproductos tóxicos |
| Problemas operativos | Poco | Medio | Muchos |
| Tiempo de contacto (mm) | 1-5 s | 30-60 mm | 10-20 mm |
| Efecto en los moluscos | Ninguno | Irritante | Oxidante |

2.3.4.6 Filtro de sedimentación

Se optó por utilizar un filtro de sedimentación que permita la retención de partículas de hasta $1 \mu m$ con lo cual se evitará la contaminación del agua depurada por parte de sólidos residuales y las heces de los moluscos (ver **Figura 2.5**). Este dispositivo será colocado antes del sistema de bombeo para evitar posibles daños o deterioros a los componentes de la bomba, además que la cantidad de contaminantes por litro será lo suficientemente baja como para ser eliminada por el sistema de depuración y así mantener agua de mar limpia circulando durante todo el proceso.



Figura 2.5 Filtro de sedimentación

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos a los que se refiere en este capítulo se enfocarán únicamente a la parte mecánica del diseño del sistema de depuración, los resultados obtenidos según las áreas de biología, economía y automatización serán omitidos a fin de evitar datos que no corresponden al área.

En base a su funcionamiento (ver **Figura 2.1**) y con fines de diseño, la planta de depuración se dividió en dos partes las cuales son: el sistema de abastecimiento y el sistema de depuración (ver **Figura 3.1**). Cada sistema cumple una función específica en diferentes etapas y están compuestos por varios componentes tales como: bombas, tuberías y accesorios, tanques, filtro de arena, filtros de sedimentación y filtros UV. Estos componentes requieren de revisiones y programas de mantenimiento como ciclos de limpieza para asegurar un óptimo funcionamiento (ver apéndice A). En la **tabla 3.1** se presenta la simbología de los componentes utilizados en la planta.

Tabla 3.1 Simbología aplicada en el diagrama de la planta

| SÍMBOLO | COMPONENTE |
|---|--|
|  | Válvula check |
|  | Bomba |
|  | Válvula de globo |
|  | Filtro de arena |
|  | Filtro UV |
|  | Filtro de sedimentación |
|  | Tanque |
|  | Tubería de llenado |
|  | Tubería de recirculación y vaciado |
|  | Succión de la tubería de recirculación |

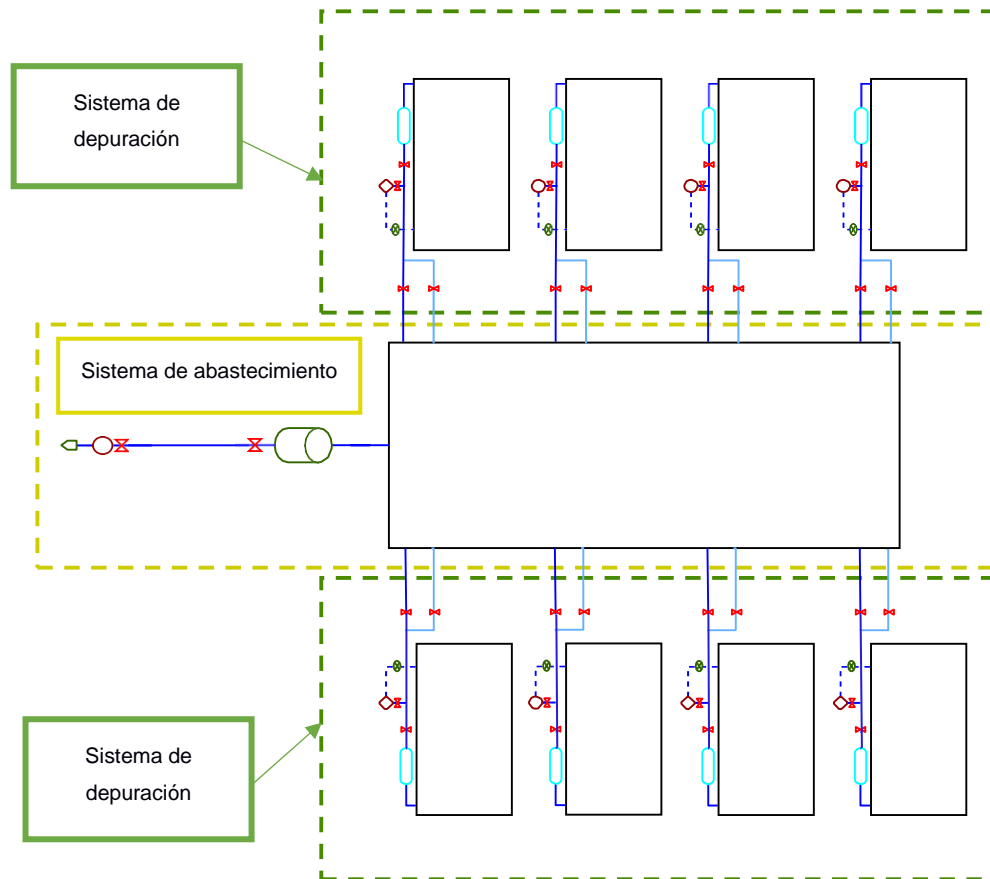


Figura 3.1 Diagrama de la planta de depuración

El sistema de abastecimiento capta el agua de mar, que es filtrada por el filtro de arena, para almacenarla en el tanque de almacenamiento. Mientras que el sistema de depuración se realiza a través de la recirculación del agua de mar (ver apartado 1.4.4).

3.1 Sistema de abastecimiento

Para la selección de los equipos de este sistema se tomó en cuenta los diferentes requerimientos de la planta y recursos disponibles en el sector de Puerto El Morro – Isla Puná, así como diferentes datos que pueden ser observados en la **Tabla 3.2**.

Tabla 3.2 Requerimientos y recursos

| | | |
|-----------------------|-------|---------------------|
| (Volumen Necesario) O | 40,5 | [m ³] |
| (Tiempo de Marea) t | 3 | [h] |
| (Caudal) Q | 13,50 | [m ³ /h] |
| (Distancia) X | 100 | [m] |

La distancia X representa la medición desde el punto de ubicación de la bomba hasta la instalación de la planta.

3.1.1 Tubería y válvulas

La longitud total de la tubería es de 117.05 metros con diámetro nominal de 75 mm y diámetro interno de 67.6 mm. Considerando la distancia desde la bomba hasta el punto de captación de agua de mar que es de 8 metros y una diferencia de altura de 6 metros entre la parte alta del tanque y el nivel del mar. La tubería consta de 4 codos de 90°, además de un reductor excéntrico a la entrada de la bomba de 75 mm a 50 mm y un reductor concéntrico a la salida de la misma de 75 mm a 50 mm.

3.1.2 Bomba

Se partió del requerimiento del volumen necesario de agua y del tiempo estimado para su recolección. De acuerdo a los cálculos realizados (ver apéndice B) se puede observar en la **Tabla 3.3** los resultados obtenidos donde la bomba debe tener un cabezal de 17.17 metros y una potencia mínima de 0.87 hp. Se tuvo en cuenta la pérdida de carga por el filtro de arena seleccionado de acuerdo a las condiciones previstas considerando una alta turbidez del agua debido a los cambios de marea que ocurren en el sector, con una pérdida del 20% del cabezal obtenido. La bomba cumple con los criterios planteados en el apartado 1.4.7.

La **Figura 3.2** muestra la curva de la bomba seleccionada con potencia de 1 HP.

Tabla 3.3 Resultados obtenidos

| | | |
|---------------------------|--------|-------|
| (Velocidad media) v | 1,04 | [m/s] |
| (Factor de fricción) f | 0,0513 | - |
| (Número de Reynolds) Re | 67700 | - |
| (Pérdida total) h_{tot} | 8,31 | [m] |
| (Cabezal bomba) h_s | 17,17 | [m] |
| (Potencia hidráulica) W | 0,87 | [hp] |

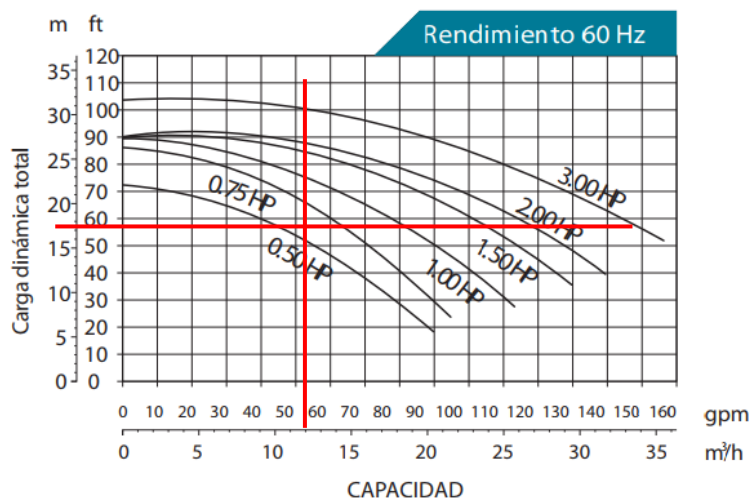


Figura 3.2 Curva de la bomba SPARUS TM 160

3.1.3 Filtro de arena

Para seleccionar este componente se tuvo en cuenta factores como la turbidez del agua, al estar la planta ubicada en una zona con frecuentes cambios de marea. El filtro de arena seleccionado (ver **Figura 3.3**) es el Triton II modelo TR100 con una capacidad de 74 GPM y un área de filtrado de 4.91 pies cuadrados. Los materiales de filtrado usados son sólo arena con una cantidad de 600 libras o una combinación de arena y gravilla con una cantidad de 150 y 450 libras respectivamente. Las dimensiones del filtro fueron consideradas para la instalación y diseño de la base del tanque de almacenamiento (ver **Tabla 3.4, Figura 3.4**), por lo cual se tomó en cuenta el espacio necesario para su mantenimiento, en donde se lleva a cabo tareas de limpieza del filtro y cambio de material de filtrado.

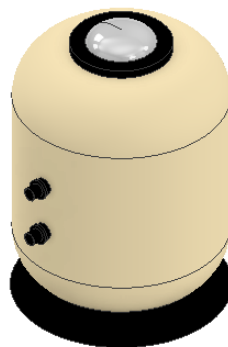


Figura 3.3 Filtro de arena Triton II modelo TR100

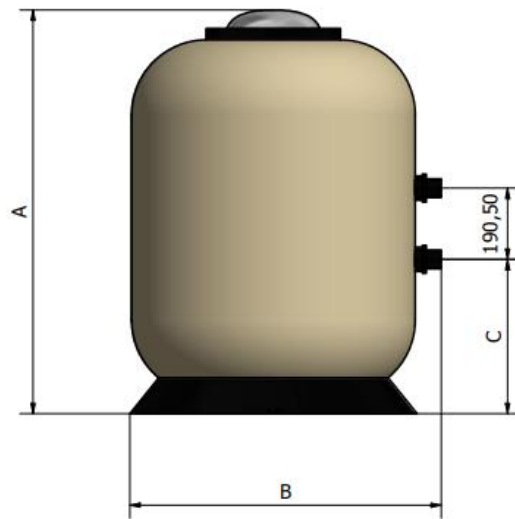


Figura 3.4 Esquema del filtro de arena

Tabla 3.4 Dimensiones del filtro de arena

| Modelo | DIM. A | DIM. B | DIM. C |
|--------|------------|----------|-----------|
| TR100 | 1009.65 mm | 774.7 mm | 412.75 mm |

3.1.4 Tanque de almacenamiento

De acuerdo al proceso de selección realizado en el apartado 2.3.2, la alternativa propuesta con mejor calificación es el tanque de concreto elevado, el cual brinda las facilidades de contar con el suministro necesario de agua con una capacidad de 40500 litros (ver **Figura 3.5**), de esta manera se logra abastecer a los tanques de depuración y mantener una reserva por imprevistos como la evaporación, fugas o pérdidas consecuentes del trabajo de depuración. Así también, el tanque de almacenamiento cumple con los estándares propuestos por la FAO como se lo indica en el apartado 2.3.4.4, en donde se hace referencia a las condiciones a cumplir por los tanques de concreto.

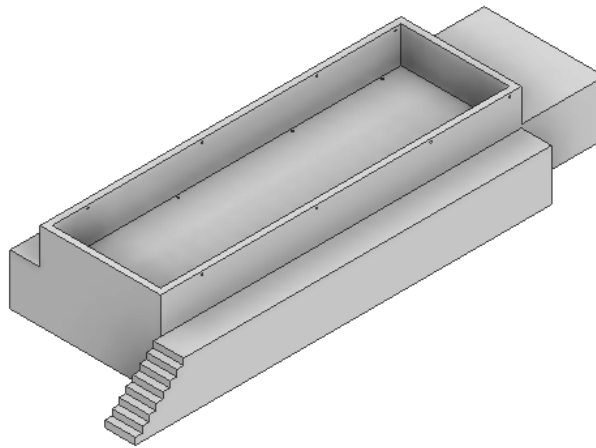


Figura 3.5 Tanque de almacenamiento

Así también, el tiempo de llenado de los tanques de depuración con el agua fluyendo por gravedad desde el tanque de almacenamiento hasta estos dio como resultado un tiempo de 13 minutos lo cual se considera aceptable para realizar la maniobra diaria y así justifica el no tener que instalar una bomba para el llenado. (ver apéndice B.7).

3.2 Sistema de depuración

En la **Figura 3.6** se presenta el diseño final del sistema de depuración, este consistirá en 8 tanques de concreto, cada uno con su propia bomba, filtro de sedimentación y lámpara UV (ver **Figura 3.7**), se usará un tanque en común encargado de suministrar el agua de depuración a todos los demás tanques, esta pasará inicialmente por la lámpara UV para que permita la desinfección del agua y así empezar el proceso de depuración. Se contará además con válvulas para regular las diferentes direcciones que debe de tomar el flujo de agua en el proceso. El sistema contará con espacio suficiente para movilización en el caso de realizar mantenimiento, serán cubiertos por pintura epóxica para mantener el cuidado del agua, y las tuberías serán de PVC.

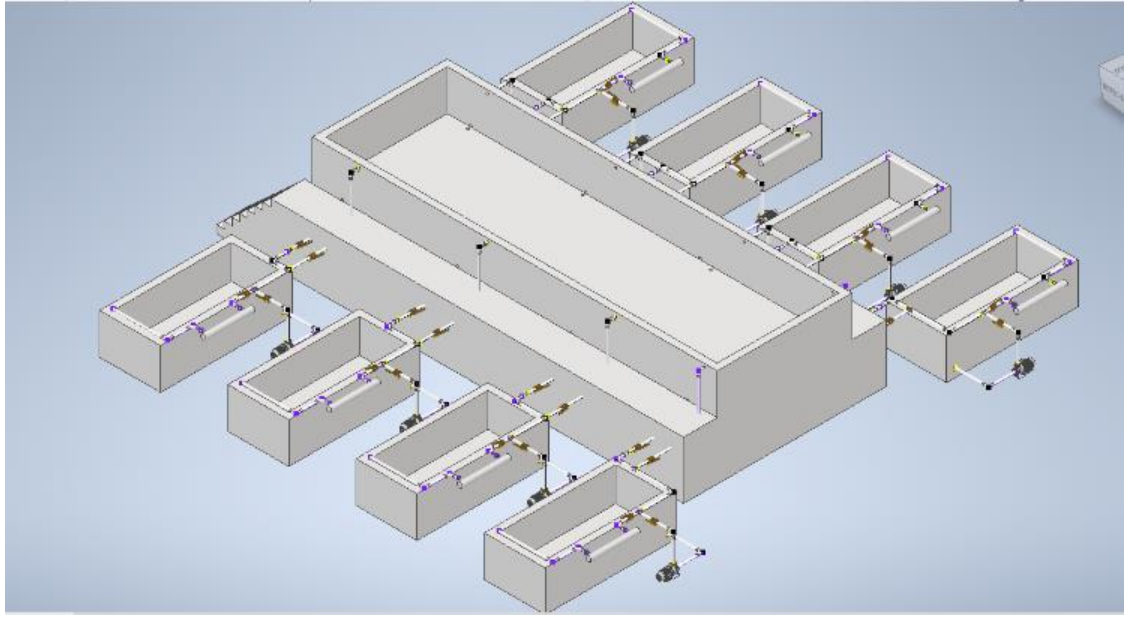


Figura 3.6 Zona de depuración

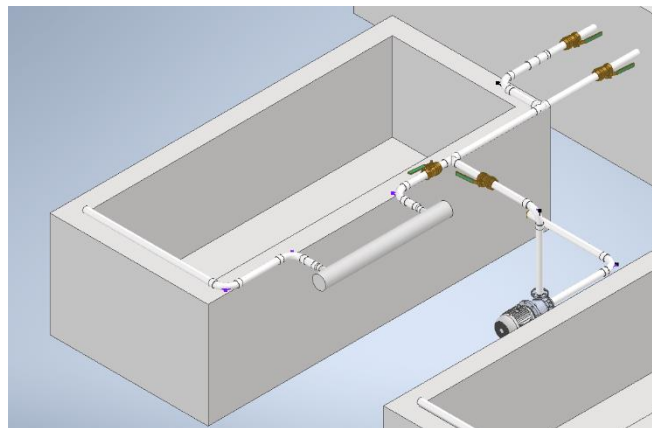


Figura 3.7 Tanque de depuración

3.2.1 Tanque de depuración

Como se presentó anteriormente el sistema a gran escala es el más adecuado para el proceso, esto implica que la cantidad de agua que se mantendrá circulando dentro del tanque debe de alcanzar un rango entre 4000 a 4500 Litros. Presentando las dimensiones 140 cm de ancho, 350 cm de largo y 100 de alto en la concavidad del tanque, se procedió a calcular el volumen de agua que el tanque vacío almacenaría.

El volumen requerido es de 4.9 m^3 , es decir, 4900 L de agua en cada tanque, lo cual estaría fuera del rango del diseño a gran escala. Sin embargo, las gavetas y moluscos ocuparán un determinado volumen dentro del tanque, esto ocasionará que el volumen efectivo de agua sea menor a 4900 L. Para determinar el volumen efectivo se calculó el volumen ocupado por las 48 gavetas y los moluscos contenidos en ellas. La densidad de cada gaveta es de 970 kg m^{-3} con un peso de 1.1 kg , con estos datos se obtuvo el volumen en litros de agua que ocupan las 48 gavetas, siendo éste de 54.4 L.

Luego se procedió a obtener el volumen ocupado por los moluscos, en cada gaveta se introducen aproximadamente 127 moluscos, siendo 48 gavetas, el total de moluscos en cada tanque resulta en 6096, además cada molusco ocupa un área aproximada de 19 cm^2 con una altura aproximada de 4.2 cm, con estos datos se obtuvo el volumen del total de conchas (ver apéndice C), siendo éste de 486.5 L.

Finalmente, de los 4900L obtenidos inicialmente se restó el volumen en litros de agua que ocuparían las gavetas y moluscos, dando como resultado un volumen de 4359.1 L. Se observa que este valor se encuentra dentro del rango de diseño de 4000 a 4500 litros, permitiendo además una altura de aproximadamente 8 cm sin llenar en el tanque.

Según la norma ACI 350.2R-04 (American Concrete Institute por sus siglas en inglés) capítulo 2 tabla 2.1 el espesor mínimo para tanques de concreto es de 15 cm, se optó por usar 20 cm como factor de seguridad.

3.2.2 Tuberías y válvulas

Para la selección del diámetro adecuado se tomó de referencia la velocidad sugerida por la norma hidrosanitaria ecuatoriana (MIDUVI, 2011) la cual indica que la velocidad en tuberías para alimentos debe de variar entre 0.6 y 2.5 ms^{-1} y se considera como valor óptimo 1.2 ms^{-1} . Además, la FAO recomienda un caudal mínimo de $9.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pero se tomará un valor de $12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Se tomó una tubería de 63 mm de diámetro nominal y 59.8 mm de diámetro interior, se verificó la velocidad de flujo (ver apéndice C.1) obteniendo una velocidad media de 1.19 ms^{-1} . Se observa que la tubería seleccionada

presentó un valor cercano a la velocidad requerida, por lo que se optó por utilizar estas dimensiones.

El enrutamiento fue tomado considerando la menor distancia que existe entre el tanque de abastecimiento y el tanque de depuración, esta ruta permite el trabajo de mantenimiento al mantener una distancia de 1 m de lado y lado desde la bomba a los tanques. Además, el tramo está enterrado por motivos de seguridad (ver **Figura 3.8** y **Figura 3.9**), pero por la baja carga y frecuencia a la que estará sometido (zona de poco tránsito) se considera que no presentará mayores inconvenientes.

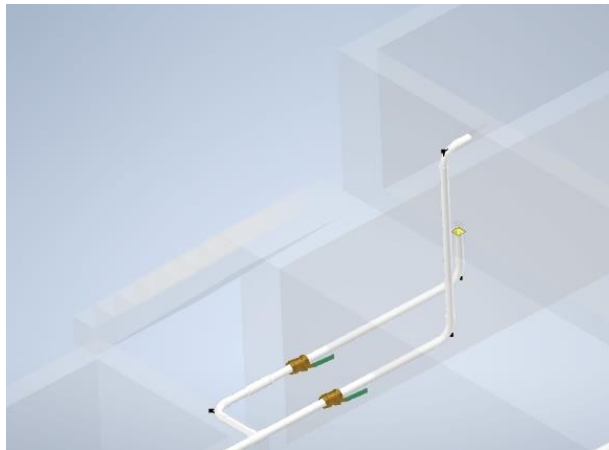


Figura 3.8 Visibilidad del tramo de tubería enterrado en zona de abastecimiento.

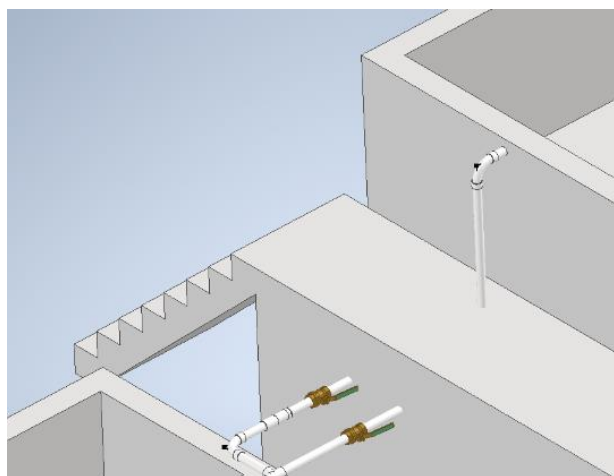


Figura 3.9 Tramo de tubería enterrado.

3.2.3 Bombas

Para el cálculo de pérdidas se utilizaron los datos proporcionados en el catálogo del fabricante, los cuales se muestran en la **Tabla 3.5**. En el presente proyecto se utilizó un diámetro nominal de 63mm, y se consideró una velocidad máxima de 1.21 m/s , con lo cual se tiene una pérdida de 2.42 m de columna de agua por cada 100 metros de tubería.

Tabla 3.5 Pérdidas por cada 100 metros de tubería

| D. nominal | | 50 [mm] | | 63 [mm] | | 75 [mm] | |
|------------|-------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| Caudal | | Pérdidas [m] | Velocidad [m/s] | Pérdidas [m] | Velocidad [m/s] | Pérdidas [m] | Velocidad [m/s] |
| LPS | GPM | | | | | | |
| 3.41 | 54.05 | 7.52 | 1.93 | 2.42 | 1.21 | 0.98 | 0.84 |
| 3.66 | 58.01 | 8.57 | 2.07 | 2.76 | 1.30 | 1.12 | 0.90 |
| 3.96 | 62.77 | 9.92 | 2.24 | 3.20 | 1.41 | 1.29 | 0.97 |

La mayor longitud de tubería que existe entre uno de los tanques de depuración hasta el almacenamiento es de 11.2 m, además los tramos de tubería cuentan con varios accesorios, de los cuáles el catálogo nos brinda la longitud de tubería que esto representarían para el cálculo de pérdidas. Dicha información se encuentra en la **Tabla 3.6** junto con la longitud de tubería total para cálculo de pérdidas. Una vez obtenida la longitud total se procedió a obtener la potencia y el cabezal mínimo de la bomba, cuyos resultados se muestran en la **Tabla 3.7**.

Con lo cual se seleccionó la bomba Sparus Pentair modelo SPK-2-AQ (ver **Figura 3.10**).

Tabla 3.6 Metros agregados de tubería

| | Cantidad | Metros de tubería agregados por unidad (63 mm de diámetro) | Metros totales de tubería agregador (63 mm de diámetro) |
|-------------|----------|--|---|
| Tubería | NA | NA | 11.2 |
| Codo de 90° | 5 | 3.4 | 17 |

| | | | |
|--------------------------|---|------|--------|
| Tee | 2 | 2.3 | 4.6 |
| Válvula de bola | 2 | 37.9 | 75.8 |
| Longitud total en metros | | | 108.63 |

Tabla 3.7 Potencia y cabezal de la bomba

| | | |
|--|------|------|
| Altura desde la superficie del agua a la salida de recirculación | 2.50 | [m] |
| Pérdidas totales | 2.63 | [m] |
| Cabezal de la bomba | 5.20 | [m] |
| Potencia de la bomba | 0.23 | [HP] |



Figura 3.10 Bomba Sparus Pentair

3.2.4 Selección de la lámpara UV

Para la selección de la lámpara UV, se tomó la velocidad máxima de funcionamiento y la longitud de onda emitida por esta, resultando en la selección de un esterilizador de alta potencia Smart UV Pentair modelo E120S (ver **Figura 3.11**). Mientras en la **Tabla 3.8** se pueden observar los datos del fabricante.



Figura 3.11 Esterilizador de agua UV

Tabla 3.8 Características de la lámpara UV

| Lámpara/ Watts | Entrada/ Salida | Max. Carga @120/240 VAC | Max. PSI/Bar | Dim. (LxD) | 30 MJ/cm ² GPM/ LPM | 180 MJ/cm ² GPM/ LPM | Sin Limpiador Modelo | Con Limpiador Modelo |
|-------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------|---------------|---|--|----------------------------|----------------------------|
| 1/50 | 2" unión | 1.15/0.57 | 50/3.44 | 30"x6" | 25/94 | 4/15 | E5 0S | E 50S-W |
| 1/80 | 2" unión | 1.15/0.57 | 50/3.44 | 45"x6" | 45/170 | 7/26 | E 80S | E 80S-W |
| 1/120 | 2" unión | 1.15/0.57 | 50/3.44 | 57"x6" | 64/242 | 10/38 | E 120S | E 120S-W |
| 1/150 | 2" unión | 1.85/0.85 | 50/3.44 | 71"x6" | 100/378 | 10/64 | E 150S | E 150S-W |

Se observa que el modelo elegido tiene una capacidad de hasta 64 GPM, el cual es el valor más cercano a las condiciones que se dan en el presente diseño, justificando la elección del modelo.

3.2.5 Tubería de descarga

En un determinado punto de operación será requerida la renovación de agua de mar, por lo que se hace necesario un tramo de tubería que dirija el agua utilizada nuevamente al mar. Al tratarse de agua que no fue contaminada o alterada no será requerido un tratamiento de aguas residuales. El proceso de descarga se llevará a cabo en los tanques de depuración, estos dispondrán de un tramo de tubería de desagüe de 200 mm de diámetro, el cual se encontrará a 400 mm debajo del suelo cubierto por rejillas (ver **Figura 3.12**) y con una inclinación de 1:100 dando como resultado un desfogue de

1.05 m debajo del nivel del suelo con un tiempo de descarga de 10 minutos aproximadamente. (ver apéndice C.4).

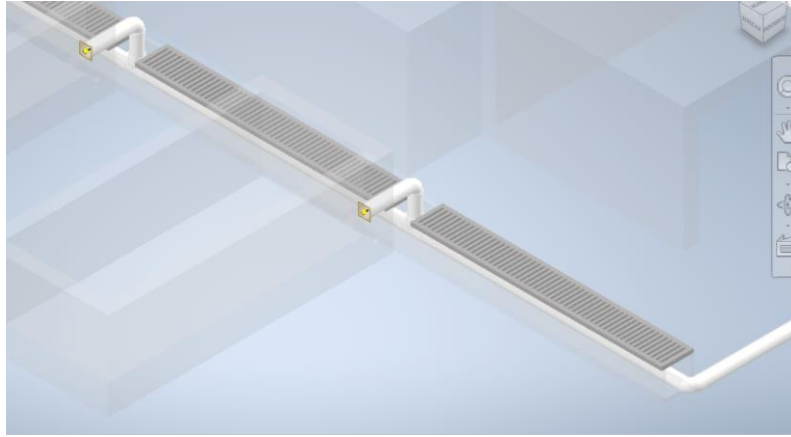


Figura 3.12 Tubería de desagüe

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En este trabajo se plantearon diferentes alternativas para el diseño del sistema de depuración de concha prieta a escala comercial, realizando su respectiva selección a través de matrices de decisión. Se tuvieron consideraciones relacionadas a las condiciones particulares de un ambiente agresivo y con restringido acceso a la red de agua: los cambios de marea para la captación del agua de mar y las características de los componentes a utilizar dentro del sistema, ya que estos deben ser resistentes a la corrosión principalmente por trabajar en agua salina y por ser implementados en un proceso de depuración de un producto alimenticio. Así, se determinó que la alternativa más favorable para este proyecto es un sistema a gran escala con recirculación, este diseño permite una menor cantidad de bombas, tuberías y demás componentes, además de la opción de utilizar el agua tomada del mar para varios ciclos de depuración, logrando una reducción de costos y uso de agua.
- Lo más importante de la realización de este proyecto es la apertura de canales para la existencia de controles sanitarios a nivel nacional a través de un diseño factible y económico como el sistema de depuración propuesto. Estableciendo un legado económico que beneficiará a alrededor de 120 recolectores de concha prieta del sector de Puerto el Morro – Isla Puná, resolviendo no sólo un problema de salud evitando enfermedades relacionadas al consumo de este producto sin depurar, sino también resolviendo un problema social. Lo que más ayudó fue la información disponible sobre proyectos de sistemas de depuración llevados a cabo en otros países. Lo más difícil fue conseguir las cotizaciones de los equipos y componentes que se implementan en el diseño de la planta de depuración.
- De todas las alternativas para el diseño de los tanques de depuración se determinó que el más favorable para la aplicación de este proyecto es el tanque rectangular, el cual permite un máximo de 3 filas de gavetas y dos columnas, lo que permitirá una cantidad de agua y circulación adecuada

asegurando la filtración natural de los moluscos. Las bombas por utilizar en este tipo de sistema serán de una potencia relativamente baja al no requerirse transportar el fluido a grandes alturas, similar sucede con las tuberías, que no estarán sometidas a grandes presiones al estar abiertas a la atmosfera, y por lo tanto será posible utilizar tuberías con una resistencia baja, siempre y cuando el diámetro que presenten resulte en la velocidad de flujo indicada según la norma hidrosanitaria ecuatoriana de 1.20 m/s.

- Se diseñó el ensamblaje de los componentes que conforman la planta de depuración a través del uso de software de diseño 3D, obteniendo los planos generales de la planta. La implementación presenta un costo aproximado de \$36000, mientras que los costos por mantenimiento y operación de bombas y lampara UV son alrededor de \$23000, resulta en un costo relativamente alto. Sin embargo, esto se compensa con un aumento de la demanda, las encuestas realizadas por el equipo de Economía parte de este proyecto multidisciplinario (detalles no reportados aquí) demostraron que de 400 personas un 75% estarían dispuesto a consumir concha prieta al asegurarles que estas pasen por un proceso de desinfección o mejora de la calidad, por lo que se concluye que el proyecto es viable de manera comercial.

4.2 Recomendaciones

- Es recomendable que la captación del agua de mar se realice en un sector donde la turbidez del agua, producto del levantamiento de los sedimentos, sea la menor posible, por lo que se recomienda buscar un lugar cuyo material de fondo sea en lo posible pedregoso. Así también, se debe tener en cuenta las variaciones entre las mareas altas y bajas, ya que esto beneficia la toma de decisión del lugar de captación del agua de mar.
- Se recomienda realizar el llenado del tanque de abastecimiento al menos un día antes de llevar a cabo el vertido del agua de mar utilizada para la depuración de los moluscos, con el fin de evitar el reingreso de los contaminantes filtrados por la concha prieta depurada. Además, de igual manera se debe tener en cuenta la dirección de los flujos de las mareas en

el sector para la colocación del desagüe en un lugar seguro y alejado del lugar de captación del agua de mar.

- Se recomienda proporcionar a los tanques de depuración y almacenamiento, una inclinación de 1:100 en el interior de estos en dirección a la tubería de desagüe o salida del agua, de tal forma se garantice el llenado y vaciado de los tanques de depuración y evitar retrasos por falta de circulación del agua o estancamiento de la misma.
- Se recomienda mantener una inspección periódica de los filtros de sedimentación de al menos una vez a la semana, y realizar un cambio o limpieza de cartucho en caso de ser requerida, esto garantizará un funcionamiento adecuado en el sistema y evitará posibles contaminaciones o daños en los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrieta-Montiel, M. P., Shedge, V., Davila, J., Christensen, A. C., & Mackenzie, S. A. J. G. (2009). Diversity of the Arabidopsis mitochondrial genome occurs via nuclear-controlled recombination activity. *183*(4), 1261-1268.
- Baggett, L. P., Powers, S. P., Brumbaugh, R. D., Coen, L. D., DeAngelis, B. M., Greene, J. K., . . . zu Ermgassen, P. S. E. (2015). Guidelines for evaluating performance of oyster habitat restoration. *Restoration Ecology*, *23*(6), 737-745. doi:10.1111/rec.12262
- Beck, M. W., Brumbaugh, R. D., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L. D., Crawford, C., . . . Guo, X. (2011). Oyster Reefs at Risk and Recommendations for Conservation, Restoration, and Management. *BioScience*, *61*(2), 107-116. doi:10.1525/bio.2011.61.2.5
- Coen, L. D., & Bishop, M. J. (2015). The ecology, evolution, impacts and management of host-parasite interactions of marine molluscs. *J Invertebr Pathol*, *131*, 177-211. doi:10.1016/j.jip.2015.08.005
- Cosson, R. (2000). Bivalve metallothionein as a biomarker of aquatic ecosystem pollution by trace metals: limits and perspectives. *46*(2), 295-309.
- Croci, L., Suffredini, E., Cozzi, L., & Toti, L. J. J. o. A. M. (2002). Effects of depuration of molluscs experimentally contaminated with Escherichia coli, Vibrio cholerae O1 and Vibrio parahaemolyticus. *92*(3), 460-465.
- El-Shenawy, N. S. J. E. T. A. I. J. (2004). Heavy-metal and microbial depuration of the clam Ruditapes decussatus and its effect on bivalve behavior and physiology. *19*(2), 143-153.
- Formiga-Cruz, M., Allard, A. K., Conden-Hansson, A.-C., Henshilwood, K., Hernroth, B., Jofre, J., . . . Microbiology, E. (2003). Evaluation of potential indicators of viral contamination in shellfish and their applicability to diverse geographical areas. *69*(3), 1556-1563.
- Galli, O., Facundo, M., & Sal, M. (2007). *Sistemas de Recirculación y Tratamiento*. Retrieved from academia.edu. http://www.academia.edu/download/54693555/000003-Sistemas_de_recirculacion_y_tratamiento_de_agua-2.pdf
- Grabowski, J. H., Brumbaugh, R. D., Conrad, R. F., Keeler, A. G., Opaluch, J. J., Peterson, C. H., . . . Smyth, A. R. (2012). Economic Valuation of Ecosystem Services Provided by Oyster Reefs. *BioScience*, *62*(10), 900-909. doi:10.1525/bio.2012.62.10.10
- Helm, M. B., N.; Lovatelli, A. (2006). *Cultivo de bivalvos en criadero: un manual práctico* (471). Retrieved from <http://www.fao.org/3/y5720s/y5720s00.htm>
- Lee, R., Lovatelli, A., & Ababouch, L. (2010). *Depuración de bivalvos: aspectos fundamentales y prácticos* (511). Retrieved from <http://www.fao.org/3/i0201s/i0201s00.htm>
- Redondo, M. A. M. (2020). Filtración (II): Selección del equipo de filtrado. Retrieved from <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/filtracion-ii-seleccion-equipo-filtrado>
- Rippey, S. R. J. C. m. r. (1994). Infectious diseases associated with molluscan shellfish consumption. *7*(4), 419-425.

- Rossel Bernedo, L. J., & Ferro Mayhua, F. P. (2020). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(1), 68-77. doi:10.18271/ria.2020.537
- Suñén, E., & Sobsey, M. D. J. J. o. v. m. (1999). Recovery and detection of enterovirus, hepatitis A virus and Norwalk virus in hardshell clams (*Mercenaria mercenaria*) by RT-PCR methods. 77(2), 179-187.
- Wong, K. K., Mat-Daud, N. A., Othman, R., Din, Z., Wan, K. L., & Surif, S. J. S. M. (2009). Identification and Characterisation of a Copper-inducible Metallothionein Gene from Cockle, *Anadara granosa*. 38(3), 287-294.

APÉNDICES

A. Programas de mantenimiento

A A continuación, se presentan los planes de mantenimiento de los equipos como bombas y filtros de arena.

A.1 Mantenimiento de las bombas

La limpieza de las canastillas, es un mantenimiento que debe realizarse 4 veces al año, teniendo un total de 42 minutos por cada mantenimiento realizado.

| Operación | Herramientas | Observaciones | Tiempo (min) | No. de personas |
|--|----------------------|--|---------------------|------------------------|
| Girar la tapa y el anillo de bloque en sentido antihorario y sacar de la bomba | | | 2 | 1 |
| Retirar suciedad y enjuagar la canasta | Cepillos | Reemplazar canasta si esta rajada | 7 | 1 |
| Colocar la canasta en la carcasa | | Alinear la muesca en el fondo de la canasta con la nervadura en la parte inferior de la voluta | 5 | 1 |
| Llenar el recipiente de la bomba y hacer una voluta hasta el puerto de entrada con agua. | | | 4 | 1 |
| Limpiar la tapa y el anillo de bloqueo, la junta tórica y la superficie de sellado del recipiente de la bomba. | Cepillos, lubricante | Mantener la junta tórica de la tapa limpia y bien lubricado | 5 | 1 |
| Instalar la tapa colocando el anillo de bloqueo y la tapa en la olla. | | Asiente el anillo de bloqueo y la tapa en la bomba y luego gire en el sentido de las agujas del reloj hasta que las manijas del anillo de bloqueo estén perpendiculares a la entrada | 5 | 1 |
| Encender la energía en el disyuntor. Vuelva a conectar el cable de comunicación de la bomba. | | | 2 | 1 |
| Abrir la válvula de alivio de aire | | Manténgase alejado del filtro. | 2 | 1 |

| | | | | |
|---|--|--|----|---|
| manual en la parte superior del filtro. | | | | |
| Esperar hasta que se libere toda la presión. Encender la bomba. | | | 5 | 1 |
| Purgar el aire del filtro hasta que salga un chorro constante de agua por la válvula de alivio de aire del filtro. Cierre la válvula de alivio de aire manual | | | 5 | 1 |
| TIEMPO | | | 42 | |

A.2 Mantenimiento del filtro de arena

El filtro de arena presenta dos programas de mantenimiento principales, que son la limpieza del filtro y limpieza química. En la siguiente tabla se puede observar el programa de mantenimiento de limpieza del filtro:

| No. | Operación | Herramientas | Repuestos | Tiempo (h) | Observaciones |
|-----|---|--------------|-----------|------------|---|
| 1 | Parar la bomba | | | 0,083 | Asegurarse que tubería de succión y lavado estén abiertas |
| 2 | Ajustar posición de la válvula | | | 0,083 | Agujeros múltiples: BACKWASH. Dos posiciones: Empujar la manilla hacia abajo |
| 3 | Arrancar la bomba | | | 0,083 | Alejarse del filtro |
| 4 | Lavar el filtro por corriente | | | 0,083 | Lavar hasta que el agua sale limpia |
| 5 | Parar la bomba (si es de Dos posiciones saltar al paso 8) | | | 0,083 | Agujeros múltiples: Válvula posición de enjuague. |
| 6 | Arrancar la bomba | | | 0,083 | Alejarse del filtro |

| | | | | | |
|----|------------------------------------|--|--|--------|---|
| 7 | Enjuagar el filtro por 30 segundos | | | 0,0083 | |
| 8 | Parar la bomba | | | 0,083 | Agujeros múltiples: FILTER. Dos posiciones: elevar la manilla y enganchar el seguro |
| 9 | Abrir el purgador de aire manual | | | 0,083 | Aléjese del filtro y haga arrancar la bomba |
| 10 | Cerrar el purgador de aire manual | | | 0,083 | Cerrar cuando se haya removido el aire y salga un chorro de agua parejo del purgador |
| 11 | Revisar la presión del filtro | | | 0,166 | Si la presión está entre 4 a 6 PSI sobre la condición de arranque será necesario limpiar químicamente la capa de arena. |
| | | | | 0,922 | |

A continuación, el programa de limpieza química:

| No. | Operación | Herramientas | Repuestos | Tiempo (h) | Observaciones |
|-----|-------------------------------|--------------|-----------|------------|--|
| 1 | Mezclar la solución | Limpiador | | 0,166 | Utilizar un limpiador aprobado |
| 2 | Lavar el filtro por corriente | | | 0,083 | Lavar hasta que el agua sale limpia |
| 3 | Desconectar la bomba | | | 0,083 | Abrir el drenaje y vaciar el filtro. Poner válvula en posición de lavado por corriente |
| 4 | Cerrar el drenaje del filtro | | | 0,083 | Remueva la tapa del depósito del colador de la bomba |

| | | | | | |
|---|---|--|--|-------|---|
| 5 | Asegurarse que las tuberías de lavado por corriente estén abiertas | | | 0,083 | |
| 6 | Conectar la bomba | | | 0,166 | Vaciar lentamente la solución de limpieza en el colador de la bomba con la bomba funcionando |
| 7 | Colocar la tapa de la bomba | | | 0,166 | Continuar agregando solución hasta que la capa de arena esté saturada con la solución de limpieza |
| 8 | Apagar la bomba y dejar el filtro en la posición de lavado por corriente (BACKWASH) | | | 0,083 | Permita que el filtro descanse 12 horas |
| 9 | Colocar la tapa de la bomba | | | 0,166 | Realizar el lavado por corriente. No permita que la solución caiga dentro del tanque. |
| | | | | 1,079 | |

B. Cálculos del sistema de abastecimiento

B A partir de los datos proporcionados en la **Tabla 3.2** se procedió a realizar los cálculos correspondientes. La selección de una tubería con diámetro nominal de 75 mm y diámetro interno de 67.6 mm se realizó a través de un proceso de iteración, siendo ésta la tubería óptima para el proyecto.

B.1 Velocidad de flujo

Se calculó la velocidad de flujo en la tubería a través de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{\dot{V} * 4}{\pi * D_i^2} \quad (B1)$$

Donde:

v : velocidad de flujo [m/s]

\dot{V} : caudal [m^3/s]

D_i : diámetro interior de tubería [m]

Obteniendo:

$$v = \frac{(40.5 \text{ m}^3/s) * 4}{\pi * (0.0676 \text{ m})^2}$$
$$v = 1.04 \text{ [m/s]}$$

Este valor es utilizado en los siguientes cálculos que dependen de la velocidad del fluido.

B.2 Número de Reynolds

Éste, es una cantidad adimensional con la cual se verificó el régimen del fluido con la siguiente clasificación:

| | |
|--------------------------|--------------------|
| $Re \leq 2000$ | Flujo Laminar |
| $2300 \leq Re \leq 4000$ | Flujo Transicional |
| $Re \geq 4000$ | Flujo Turbulento |

Está representado por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{vD_i}{\nu} \quad (B2)$$

Donde:

v : Velocidad promedio del fluido [m/s]

D_i : Diámetro interno de la tubería [m]

ν : Viscosidad cinemática del fluido [m^2/s]

La viscosidad cinemática empleada para los cálculos es $1.044 * 10^{-06}$.

Obteniendo:

$$Re = \frac{(1.04 \text{ m/s}) * (0.0676 \text{ m})}{1.044 * 10^{-06} \text{ m}^2/\text{s}}$$
$$Re = 6.77 * 10^4$$

Siendo este resultado según la clasificación un régimen de flujo turbulento. El número de Reynolds está relacionado con el incremento de la fuerza de fricción sobre la superficie y con la potencia de bombeo necesaria.

B.3 Factor de fricción

Para determinar el factor de fricción se hizo uso de la ecuación de Haaland (ver ecuación B3), quien proporcionó una relación con una gran exactitud entre el número de Reynolds, la rugosidad del material de la tubería y su diámetro.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D_i}{3.7} \right)^{1.11} \right] \quad (B3)$$

Donde:

f : Factor de fricción.

ε : Rugosidad del material [mm].

La rugosidad del material empleada para los cálculos es 0.0015 [m].

Obteniendo:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -1.8 \log \left[\frac{6.9}{6.77 * 10^4} + \left(\frac{0.0015/0.0676}{3.7} \right)^{1.11} \right]$$
$$f \cong \left(\frac{1}{-1.8 \log \left[\frac{6.9}{6.77 * 10^4} + \left(\frac{0.0015/0.0676}{3.7} \right)^{1.11} \right]} \right)^2$$
$$f = 0.0513$$

B.4 Pérdidas de carga y accesorios

La pérdida de carga está relacionada con la variación de presión en el fluido (ver ecuación B4.1). Partiendo de la estática de fluidos se tiene que la altura de un fluido es la relación entre la pérdida de presión con la densidad del fluido y gravedad (ver ecuación B4.2).

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D_i} \frac{\rho v^2}{2g} \quad (B4.1)$$

Donde:

ΔP_L : Variación de presión en el fluido [N/m^2].

L : Longitud de la tubería [m].

ρ : Densidad del fluido [kg/m^3].

g : Gravedad [m/s^2].

Se tiene entonces que:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} \quad (B4.2)$$

Donde:

h_L : Pérdida de carga [m].

Así con la ecuación B4.3 se obtuvo las pérdidas de carga.

$$h_L = f \frac{L}{D_i} \frac{v^2}{2g} \quad (B4.3)$$

Los respectivos valores para la pérdida por accesorios se obtuvieron del catálogo del fabricante de tuberías Plastigama, éstos valores representan las pérdidas en metros de longitud de tubería.

Los accesorios utilizados en el diseño son:

| Accesorios | Cant. |
|----------------------|-------|
| Codo 90° | 4 |
| Válvula check | 1 |
| Válvula de compuerta | 2 |

| Accesorios | Cantidad | $h_{acc.} [m]$ | Valor [m] |
|----------------------|----------|-----------------------|---------------|
| Codo 90° | 7 | 3,7 | 25,9 |
| Válvula check | 1 | 8,2 | 8,2 |
| Válvula de compuerta | 2 | 0,9 | 1,8 |
| | | $\Sigma h_{acc.} [m]$ | 35,9 |

Pérdidas de carga en accesorios

| DIÁMETRO NOMINAL | | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 75 | 90 | 110 | 160 | 200 |
|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PÉRDIDAS DE CARGA | | (m) | | | | | | | | | | |
| TEE |  | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.50 | 2.20 | 2.30 | 2.40 | 2.50 | 2.60 | 3.60 | 5.00 |
| CODO 90° |  | 1.10 | 1.20 | 1.50 | 2.00 | 3.20 | 3.40 | 3.70 | 3.90 | 4.30 | 5.40 | 5.50 |
| CODO 45° |  | 0.40 | 0.50 | 0.70 | 1.00 | 1.30 | 1.50 | 1.70 | 1.80 | 1.90 | 2.60 | 3.50 |
| CODO 90° L/R |  | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.50 | 1.60 | 2.10 | 2.60 |
| CODO 45° L/R |  | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.00 | 1.20 | 1.40 |
| VÁLVULA CHECK |  | 2.50 | 2.70 | 3.80 | 4.90 | 6.80 | 7.10 | 8.20 | 9.30 | 10.40 | 13.90 | 17.60 |
| VÁLVULA DE BOLA |  | 11.10 | 11.40 | 15.00 | 22.00 | 35.80 | 37.90 | 38.00 | 40.00 | 42.30 | 56.70 | 72.10 |
| VÁLVULA DE COMPUERTA |  | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 0.90 | 1.00 | 1.20 | 1.40 |


Este valor de 24.8 m, sumado a los 117.05 m de longitud de tubería perteneciente al diseño de abastecimiento de la planta, se alcanza una longitud total de 152.95 m. Obteniendo a través de la ecuación B4.3:

$$h_L = (0.0513) * \frac{152.95 \text{ m} (1.04 \text{ m/s})^2}{0.0676 \text{ m}^2 * (9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_L = 6.46 \text{ [m]}$$

Así también, en el caso de las reducciones aplicadas en los cambios de diámetro en la bomba y filtro de arena, se tomó la siguiente tabla para obtener los factores de corrección para los debidos accesorios:

LONGITUD EQUIVALENTE EN REDUCCIONES Y AMPLIACIONES GRADUALES:



REDUCCIÓN EXTERIOR MACHO-HEMBA

| Diámetro | | Como ampliación | Como reducción |
|----------|----|-----------------|----------------|
| d | D | L_{equi} (m) | L_{equi} (m) |
| 20 | 32 | 10 | 1,5 |
| 20 | 40 | 15 | 2,0 |
| 20 | 50 | 20 | 3,0 |
| 25 | 40 | 16 | 2,0 |
| 25 | 50 | 20 | 3,0 |
| 25 | 63 | 25 | 4,0 |
| 32 | 50 | 15 | 2,0 |
| 32 | 63 | 10 | 3,0 |
| 32 | 75 | 25 | 4,0 |
| 40 | 63 | 18 | 2,5 |
| 40 | 75 | 21 | 3,0 |
| 40 | 90 | 26 | 3,0 |
| 50 | 75 | 19 | 3,0 |
| 50 | 90 | 21 | 3,0 |

Tomando la reducción de 50 mm a 75 mm. Con el uso de la ecuación B4.4:

$$h_{accesorios} = \sum K_i \frac{v_{prom}^2}{2g} \quad (B4.4)$$

Obteniendo:

| Adaptadores | Cant. | L_e [m] | $(L_e/D) * f$ |
|----------------------|-------|------------|---------------|
| Adap. red. 50-75 mm | 2 | 3 | 4.44 |
| Adap. ampl. 50-75 mm | 2 | 19 | 28.82 |
| | | $\sum K_i$ | 33.37 |

$$h_{accesorios} = (33.37) * \frac{(1.04 \text{ m/s})^2}{2 * (9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{accesorios} = 1.86 \text{ [m]}$$

B.5 Cabezal de la bomba

A través de la ecuación de la energía (ver ecuación B5.1), se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + h_s = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_{total} \quad (B5.1)$$

Donde:

P/γ : Carga de presión [m].

$v^2/2g$: Carga de velocidad [m].

Z: Carga de elevación [m].

h_s : Cabezal de la bomba [m].

h_{total} : Pérdida total [m].

α : Factor de corrección de la energía cinética.

Considerando que la presión a la entrada y salida son iguales, además de las velocidades y el factor de corrección, se obtiene la ecuación B5.2:

$$h_s = (Z_2 - Z_1) + h_{total} \quad (B5.2)$$

Teniendo en cuenta la diferencia de altura entre la descarga de la bomba y el nivel del agua en la succión, siendo esta de 6 metros

Teniendo en cuenta la diferencia de altura entre la descarga de la bomba y el nivel del agua en la succión, siendo esta de 6 metros, se obtiene:

$$Z_2 - Z_1 = 6 \text{ m}$$

$$h_{total} = h_L + h_{reductores} = 6.46 \text{ m} + 1.86 \text{ m} = 8.32 \text{ [m]}$$

Obteniendo:

$$h_b = 6 \text{ m} + 8.32 \text{ m} = 14.32 \text{ [m]}$$

Debido a la falta de información sobre las pérdidas de carga provocadas por el filtro de arena se decidió trabajar agregando un 20% del cabezal de la bomba:

$$h_b = 1.2 * h_b = 14.32 \text{ m} * 1.2 = 17.17 \text{ [m]}$$

Siendo 17.17 m el resultado final obtenido para el cabezal de la bomba.

B.6 Potencia de la bomba

La potencia de la bomba está dada por la ecuación B6 :

$$W_{hidráulica} = \dot{V} \rho g h_L \quad (B6)$$

Donde:

\dot{V} : caudal [m^3/s]

ρ : densidad del agua de mar [kg/m^3]

g : gravedad [m/s^2]

h_b : cabezal de la bomba [m]

Obteniendo:

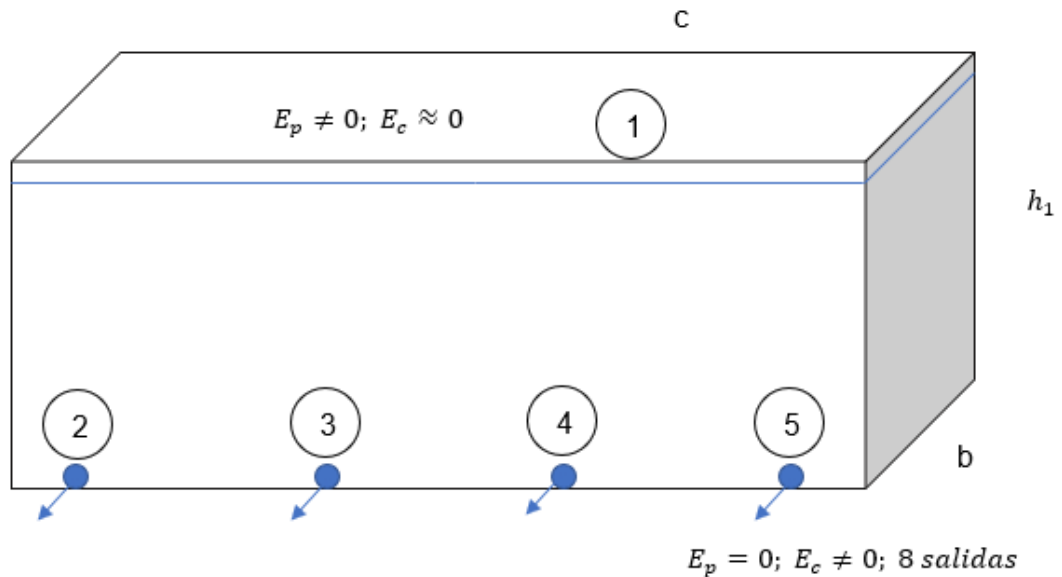
$$W_{hidráulica} = 3.75 * 10^{-3} \text{ m}^3/s * 1027 \text{ kg/m}^3 * 9.82 \text{ m/s}^2 * 17.17 \text{ m}$$

$$W_{hidráulica} = 648.78 \text{ [W]}$$

$$W_{hidráulica} = 0.87 \text{ [hp]}$$

Siendo la potencia hidráulica requerida de 0.87 [hp].

B.7 Tiempo de llenado de los tanques de depuración



Se tiene en cuenta:

$$E_p = mgh$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Asumimos un sistema conservativo:

$$E_{inicial} = E_{final}$$

$$m_1gh_1 = \frac{1}{2}m_2v_2^2 + \dots + \frac{1}{2}m_9v_9^2 \quad (B7.1)$$

Se tiene en cuenta que las velocidades en las salidas son iguales:

$$v_2 = v_3 = \dots = v_9$$

Y que la masa en las salidas también lo son:

$$m_2 = m_3 = \dots = m_9$$

Además, la sumatoria de masas en las salidas es igual a la masa en el borde superior del tanque, punto 1:

$$m_2 + m_3 + \dots + m_9 = m_1$$

Por lo que:

$$m_2 + m_2 + \dots + m_2 = m_1$$

Al ser 8 salidas, tenemos:

$$8m_2 = m_1$$

$$m_2 = \frac{m_1}{8} \quad (B7.2)$$

Reemplazando la ecuación B7.2 en la ecuación B7.1 y tomando en cuenta las velocidades:

$$m_1 g h_1 = \frac{1}{2} \frac{m_1}{8} v^2 + \dots + \frac{1}{2} \frac{m_1}{8} v^2$$

$$m_1 g h_1 = \frac{8}{16} m_1 v^2 = \frac{1}{2} m_1 v^2$$

$$v = \sqrt{2gh_1}$$

Siendo para cualquier instante de tiempo:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Por volumen de control tenemos:

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{vc}}{dt}, \dot{m}_{in} = 0$$

Donde

$$m_{vc} = \rho Ah$$

$$\dot{m}_{out} = \rho v a|_{out} = \rho \sqrt{2gh} a; A = bc; a = \frac{\pi}{4} d^2$$

En el flujo másico de salida, se toma en cuenta las 8 salidas:

$$-\dot{m}_{out} = \frac{dm_{vc}}{dt} \rightarrow -8\rho\sqrt{2gh}a = \frac{d(\rho Ah)}{dt}$$

$$-8\rho\sqrt{2gh}a = \rho A \frac{dh}{dt}$$

$$dt = -\frac{1}{8} \frac{A}{a} \frac{1}{\sqrt{2g}} \frac{dh}{\sqrt{h}}$$

Definiendo las condiciones de barrera:

$$t_1 = 0; h_2 = 0$$

Datos:

$$b = 3.6 \text{ m}$$

$$c = 11.6 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.8621 \text{ m}$$

Tubería de diámetro
(interno) comercial de
2.5 pulgadas:

$$d = 0.0598 \text{ m}$$

$$\int_0^{t_2} dt = -\frac{1}{8\sqrt{2g}} \frac{bc}{\frac{\pi}{4} d^2} \int_{h_1}^0 h^{-1/2} dh$$

$$t|_0^{t_2} = -\frac{1}{8\sqrt{2g}} \frac{4bc}{\pi d^2} 2\sqrt{h} \Big|_{h_1}^0$$

$$t_2 = -\frac{1}{\sqrt{2g}} \frac{bc}{\pi d^2} (\sqrt{0} - \sqrt{h_1})$$

$$t_2 = \frac{bc}{\pi d^2} \sqrt{\frac{h_1}{2g}}$$

$$t_2 = \frac{3.6 * 11.6}{\pi(0.0598)^2} \sqrt{\frac{0.8621}{2(9.81)}} = 779.1796 \text{ [s]} = 12.99 \text{ [min]}$$

El tiempo de llenado de los tanques de depuración es de 13 minutos aproximadamente

C. Cálculos del sistema de recirculación

C A partir de las características y requerimientos del diseño se realizan los cálculos para el sistema de recirculación.

C.1 Cálculo de pérdida de carga en la tubería

El cálculo de pérdidas se realizó mediante lo indicado por el fabricante, el cual indica que por cada 100 metros de tubería se tiene una pérdida de 2.42 metros para una tubería de 63mm de diámetro nominal, lo que resulta:

$$\frac{2.42 \text{ m pérdida}}{100 \text{ m tubería}} * 108.62 \text{ m tubería} = 2.63 \text{ m pérdida}$$

C.2 Cálculo de potencia de la bomba

Una vez obtenidas las pérdidas por tubería, se procedió a realizar el cálculo del cabezal de la bomba mediante la siguiente expresión:

$$h_B = \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L$$

Donde:

h_B : cabezal de la bomba (m)

ΔP : diferencia de presiones entre el punto de succión y descarga (Pa)

ρ : densidad (Kg/m³)

g : gravedad (m/s²)

v_1 : velocidad punto de succión (m/s)

v_2 : velocidad punto de descarga (m/s)

h_L : Distancia vertical desde el punto de succión hasta el punto de descarga (m)

El cabezal de la bomba resultó:

$$h_B = 2.5 + \frac{0}{998 * 9.81} + \frac{1.19^2 - 0^2}{2g} + 2.63 = 5.2 \text{ m}$$

Utilizando este dato, finalmente se obtuvo la potencia de la bomba con la siguiente expresión:

$$P_u = \rho * g * Q * h_B$$

Donde:

P_u : potencia de la bomba

Lo cual resultó:

$$P_u = 998 * 9.81 * \left(\frac{12}{3600}\right) * 5.2 = 169.5W = 0.17KW = 0.23 HP$$

C.3 Diseño del tanque de depuración

Volumen del agua en el tanque vacío:

$$V = AxLxH$$

Donde:

V : volumen de agua contenida en el tanque en $[m^3]$

A : ancho de la concavidad del tanque en $[m]$

L : largo de concavidad del tanque en $[m]$

H : altura de la concavidad del tanque en $[m]$

Con dicha ecuación obtenemos:

$$V = AxLxH \rightarrow V = 1.4 * 3.5 * 1 = 4.9 m^3$$

La densidad de cada gaveta es de $970 \frac{kg}{m^3}$ con un peso de $1.1 kg$, con estos datos se obtuvo el volumen en litros de agua que ocupan las 48 gavetas:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} * 48 * 1000 = \frac{1.1}{970} * 48 * 1000 \rightarrow V_{gavetas} = 54.4L$$

Para el cálculo del volumen ocupado por los moluscos se tomó en cuenta sus dimensiones, siendo éstas de un área aproximada de $19 cm^2$ con una altura aproximada de $4.2 cm$, obteniendo:

$$V = 19 * 4.2 = 79.8 cm^3 * \frac{1m^3}{100^3 cm^3} * \frac{1000L}{1m^3} * 6096 \rightarrow V_{moluscos} = 486.5 L$$

Obteniendo un volumen efectivo de volumen de agua por tanque de:

$$V_{efectivo} = 4900 - 54.4 - 486.5 \rightarrow V_{efectivo} = 4359.1L$$

C.4 Tiempo de vaciado de los tanques de depuración

Por volumen de control se tiene:

$$m_{in} - m_{out} = \frac{dm_{vc}}{dt}, \text{ donde } m_{in} = 0$$

Donde:

$$m_{vc} = \rho A' h$$

$$m_{out} = \rho v a = \rho \sqrt{2gh} a$$

Reemplazando en la ecuación del volumen de control:

$$-m_{out} = \frac{dm_{vc}}{dt} \rightarrow -\rho \sqrt{2gh} a = \frac{d\rho A' h}{dt} \rightarrow dt = -\frac{A'}{\sqrt{2ga}} \frac{dh}{\sqrt{h}}$$

Definiendo las condiciones de frontera:

$$t_2 = -\frac{A'}{\sqrt{2ga}} \int_{h_1}^0 \sqrt{h} dh \rightarrow t_2 = \frac{A'}{\sqrt{2ga}} 2\sqrt{h_1}$$

Sabiendo que:

- $A' = b' * c'$
- $a = \frac{\pi}{4} d^2$

$$t_2 = \frac{8 * b' * c' * \sqrt{h_1}}{\sqrt{2g\pi}} \frac{1}{d^2}$$

Sabiendo que:

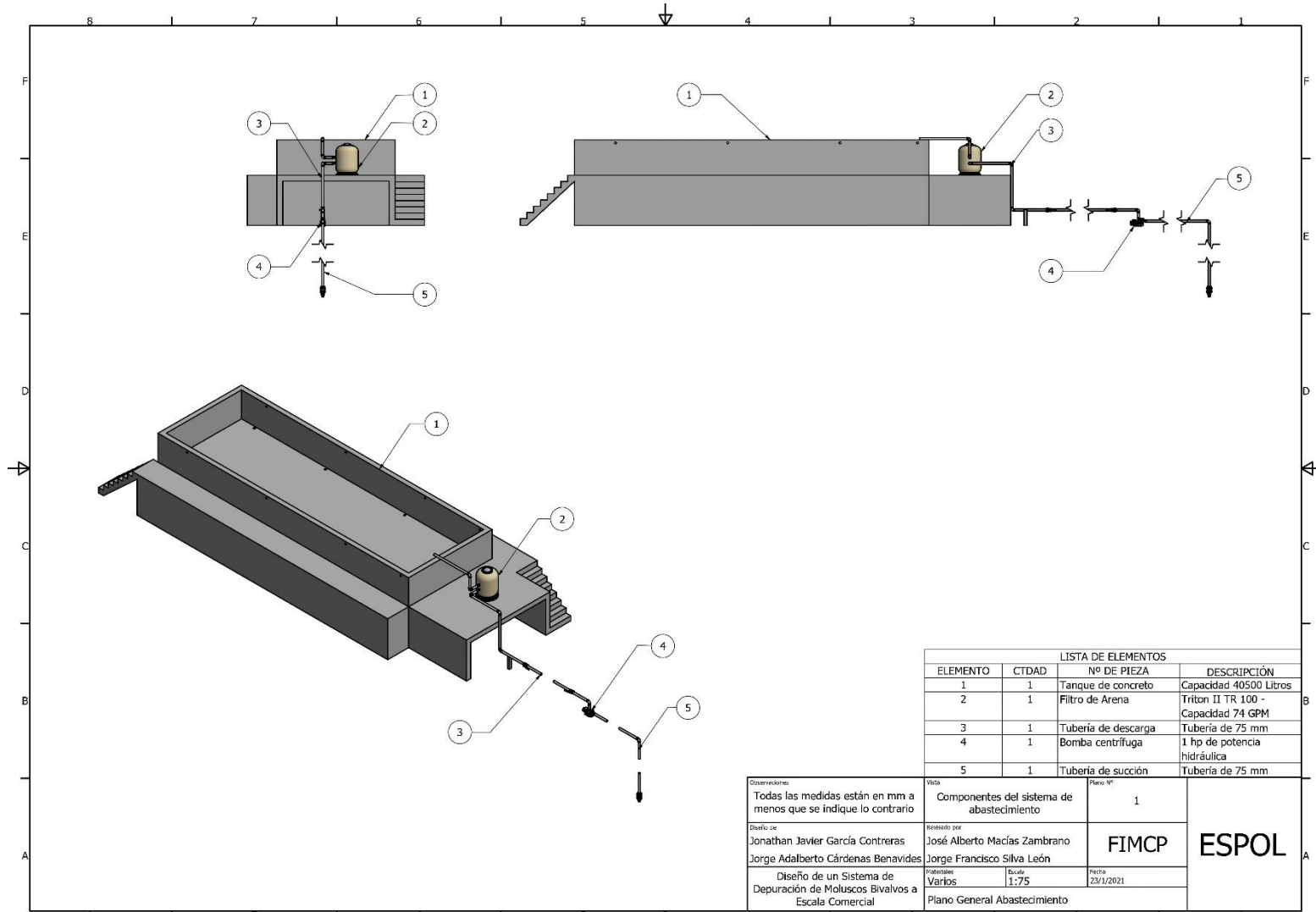
- $b' = \text{ancho del tanque de depuración} = 1.4 \text{ [m]}$
- $c' = \text{largo del tanque de depuración} = 3.5 \text{ [m]}$
- $h_1 = \text{altura del nivel del agua} = 0.9 \text{ [m]}$

$$t_2 = \frac{8 * 1.4 * 3.5 * \sqrt{0.9}}{\sqrt{2 * 9.81\pi}} \frac{1}{d^2} = \frac{2.67}{d^2} \rightarrow \text{x8 tanques} \rightarrow t_2 = \frac{21.38}{d^2}$$

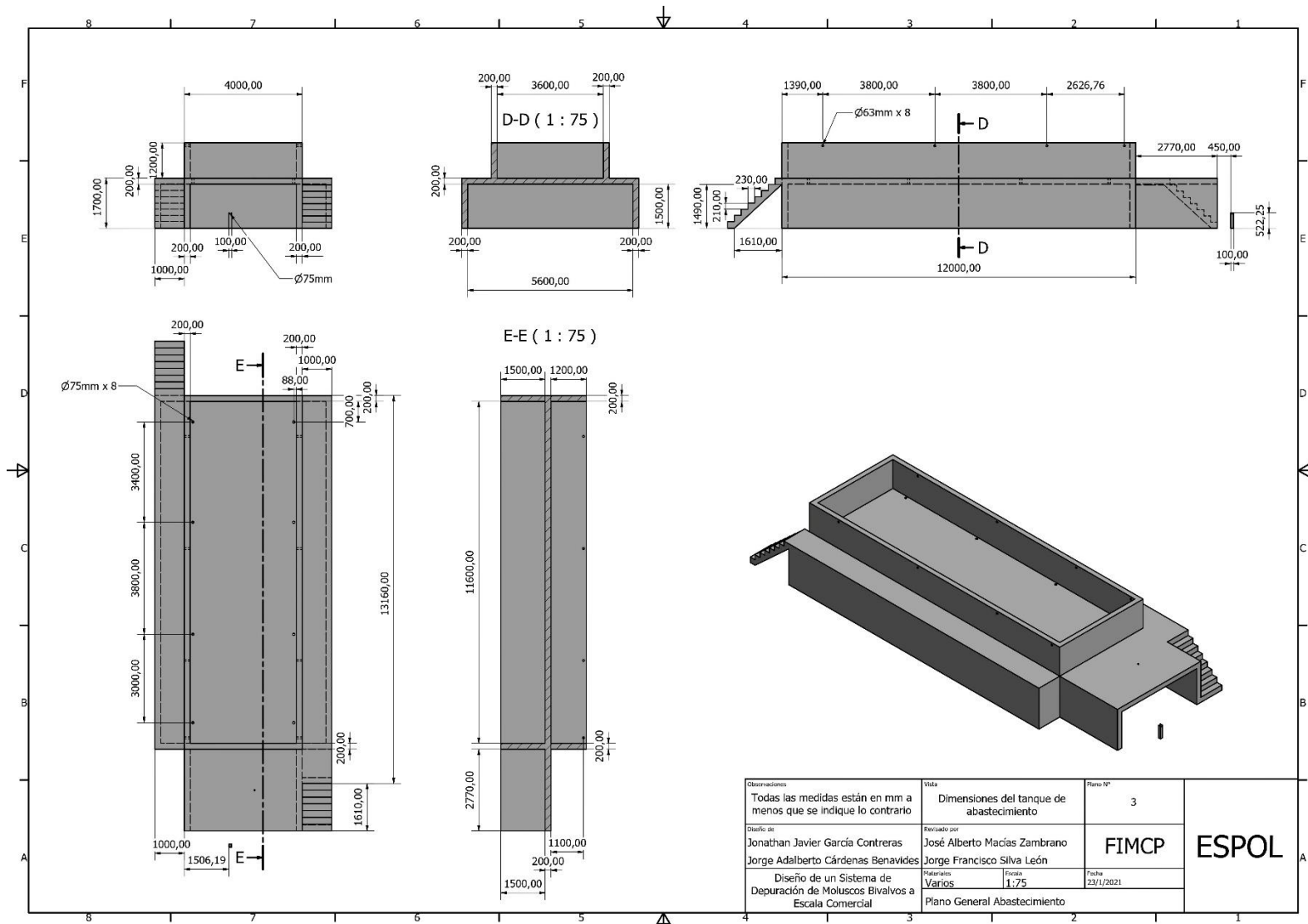
Tomando en cuenta una tubería del fabricante Plastigama, con diámetro nominal de 200 mm y diámetro interior de 192.2 mm, el tiempo de descarga al mar resulta:

$$t_2 = \frac{21.38}{0.1922^2} \rightarrow t_2 = 578.75 \text{ seg} \approx 10 \text{ min}$$

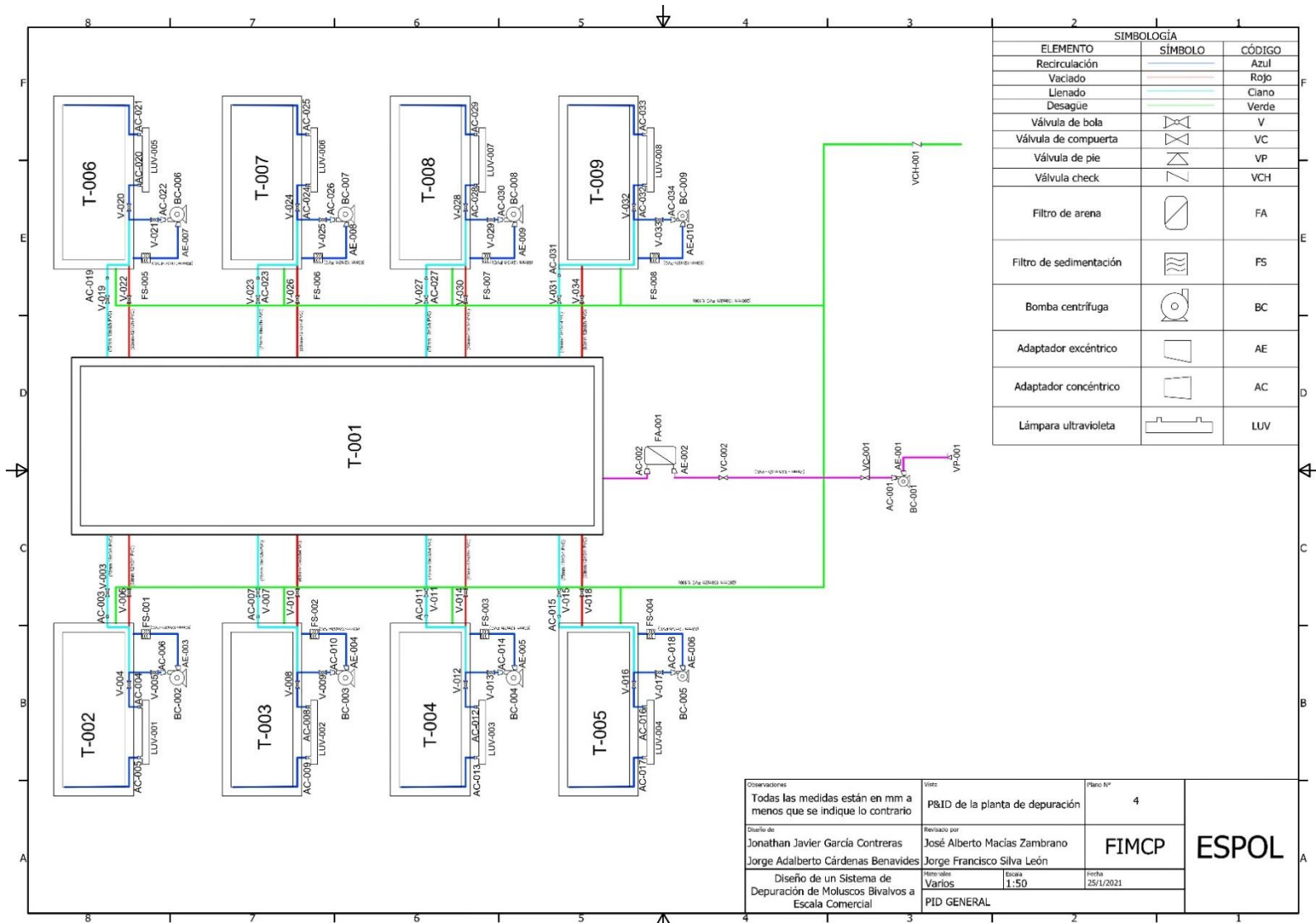
D. Planos del sistema



Plano 1 Lista de materiales sistema de abastecimiento

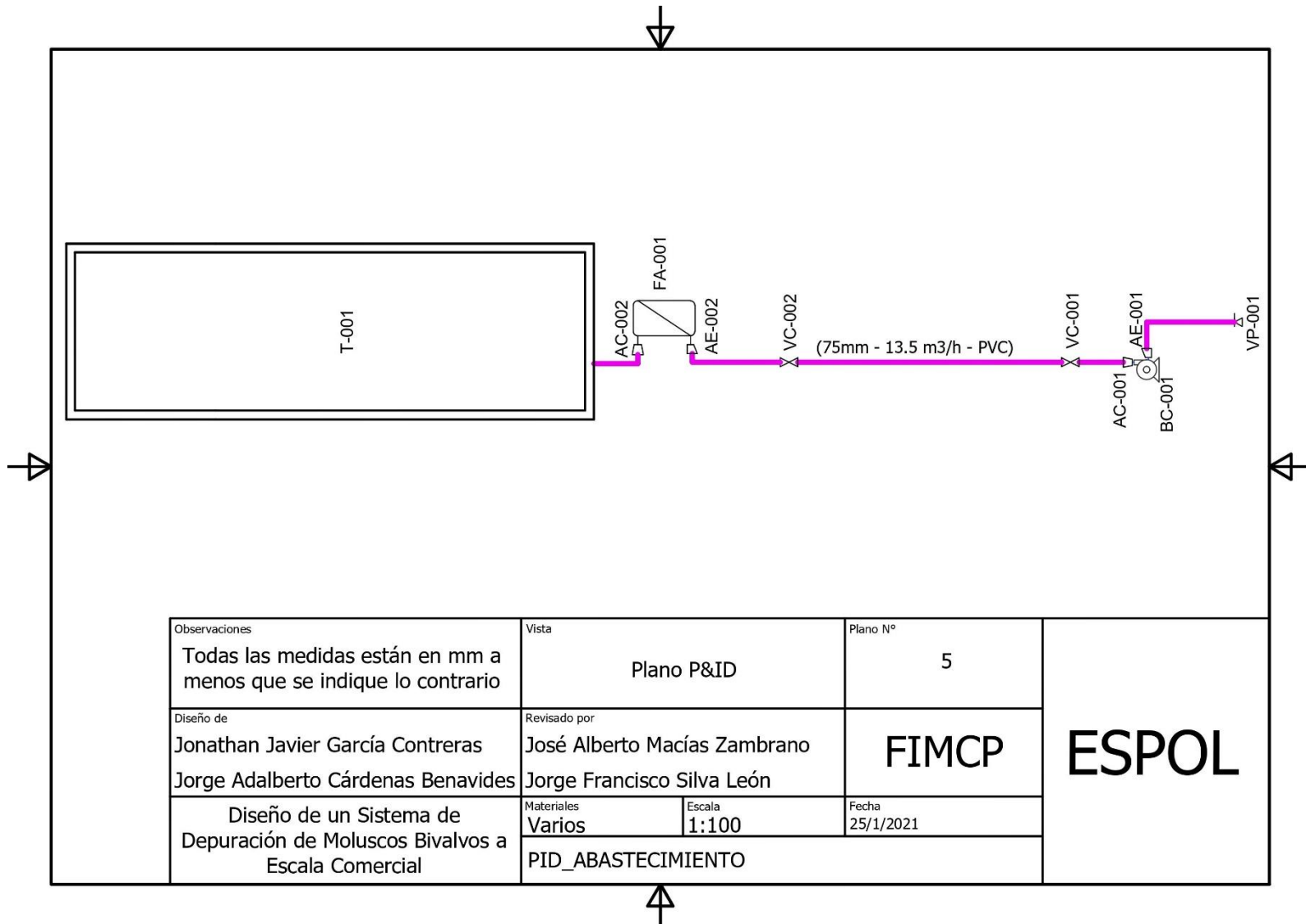


Plano 3 Dimensiones del tanque de abastecimiento

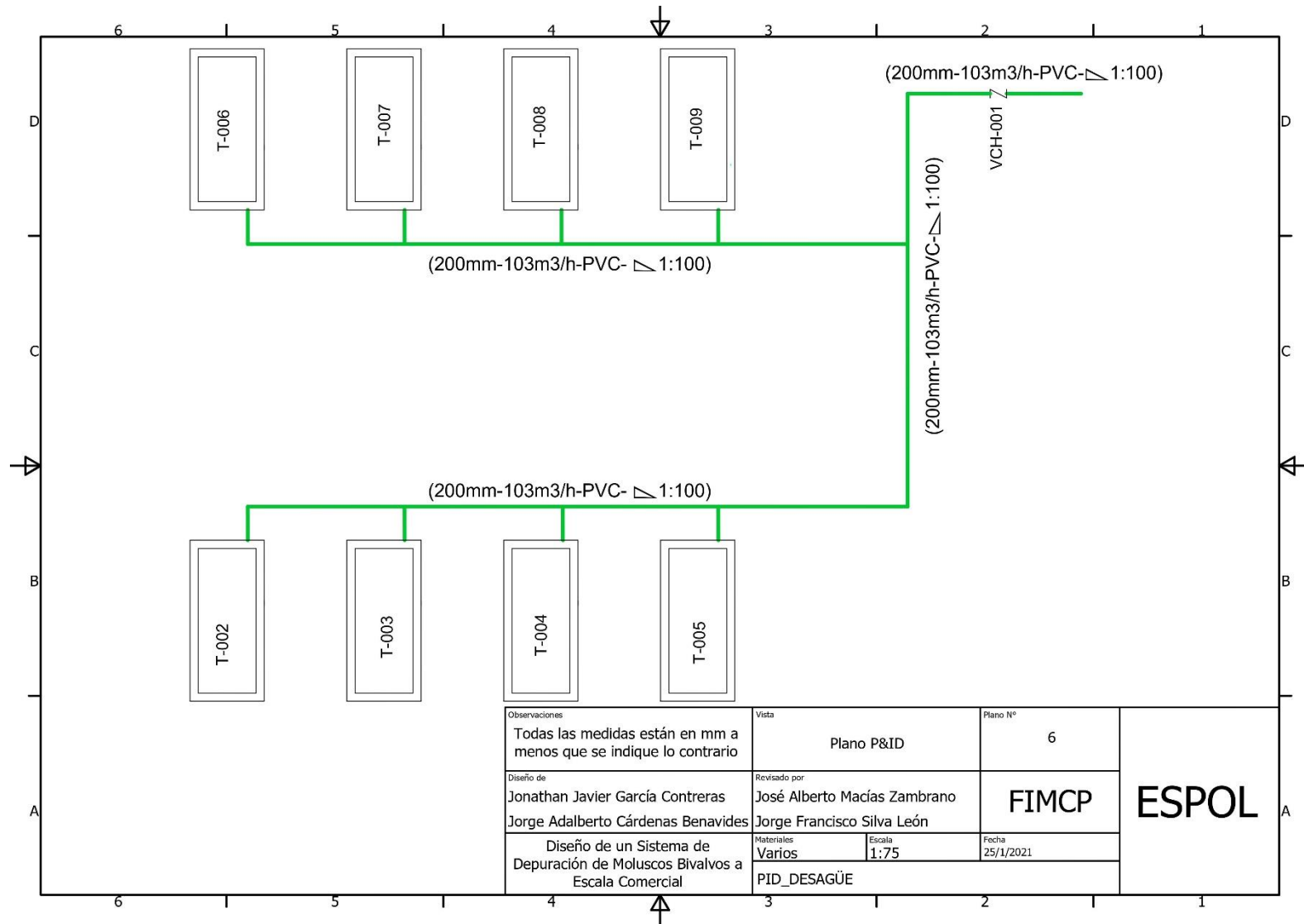


| | | | |
|--|--|--------------------|--------------|
| Observaciones | Vista | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | P&ID de la planta de depuración | 4 | |
| Diseño de | Revisado por | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Hoja Varios | Fecha 25/1/2021 | |
| PID GENERAL | | | |

Plano 4 P&ID de la planta de depuración

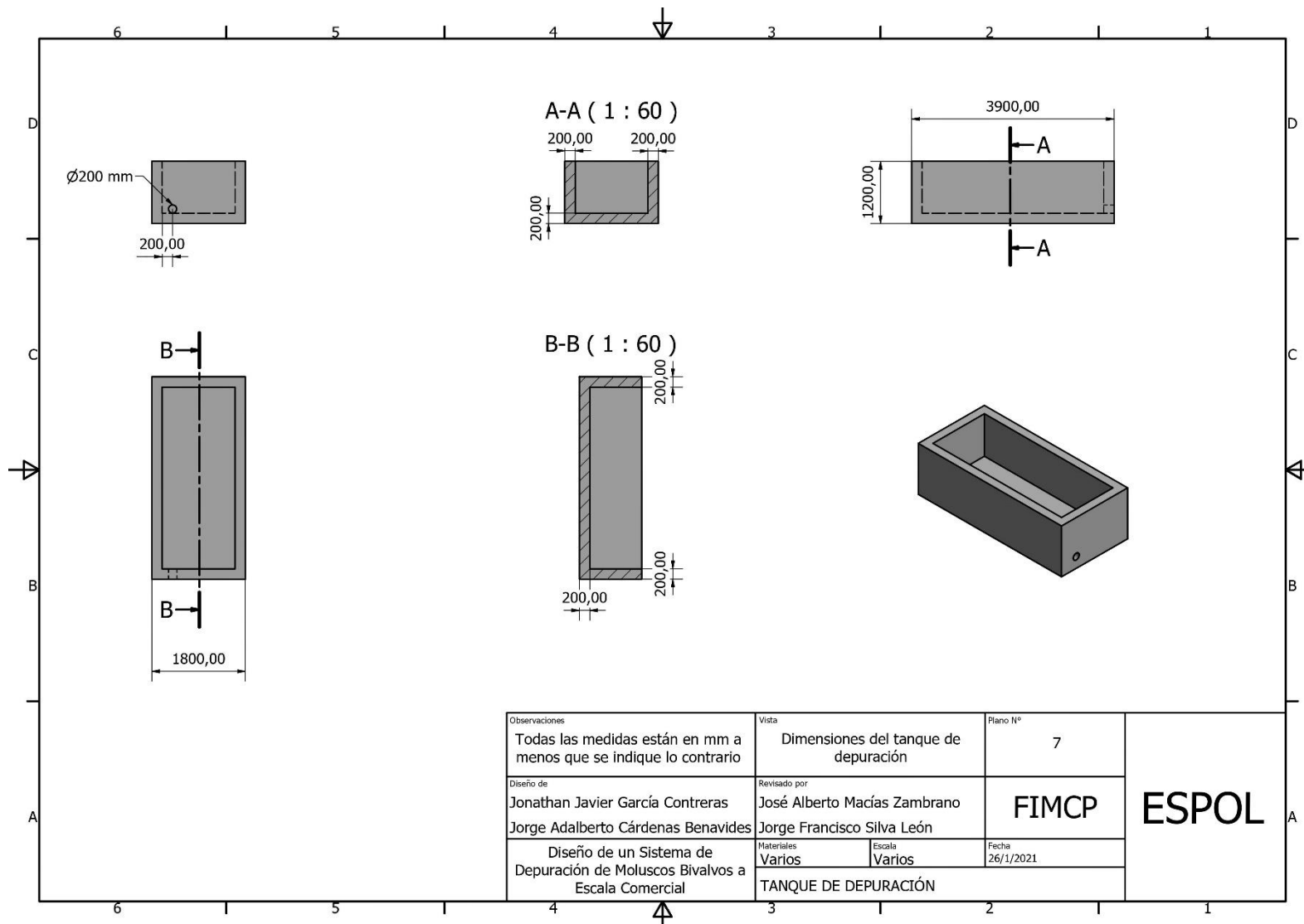


Plano 5 P&ID tanque de abastecimiento



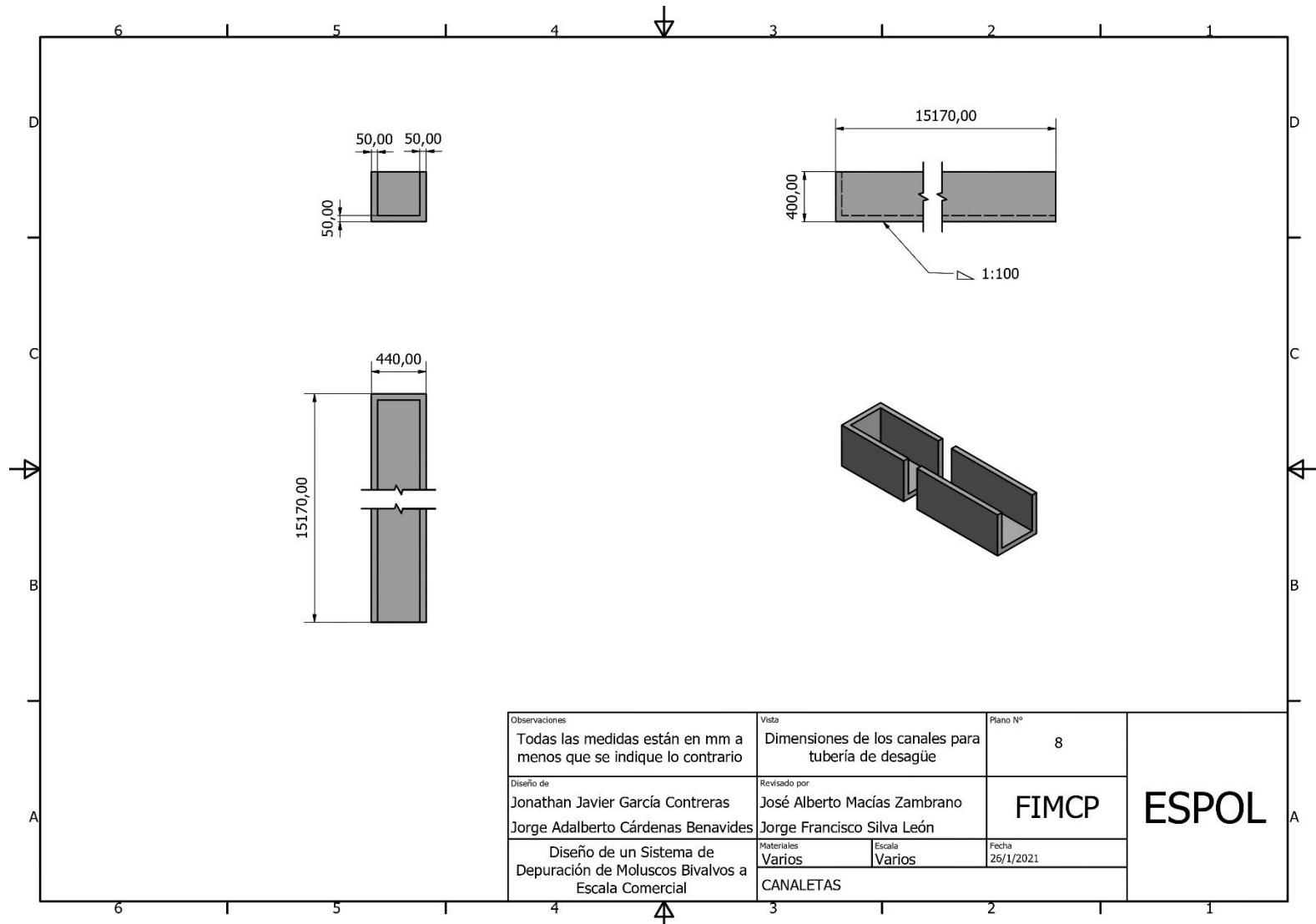
| | | | | |
|--|--|--------|--------------|--------------|
| Observaciones | Vista | | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | Plano P&ID | | 6 | |
| Diseño de | Revisado por | | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales | Escala | Fecha | |
| | Varios | 1:75 | 25/1/2021 | |
| PID_DESAGÜE | | | | |

Plano 6 P&ID desagüe tanques de depuración

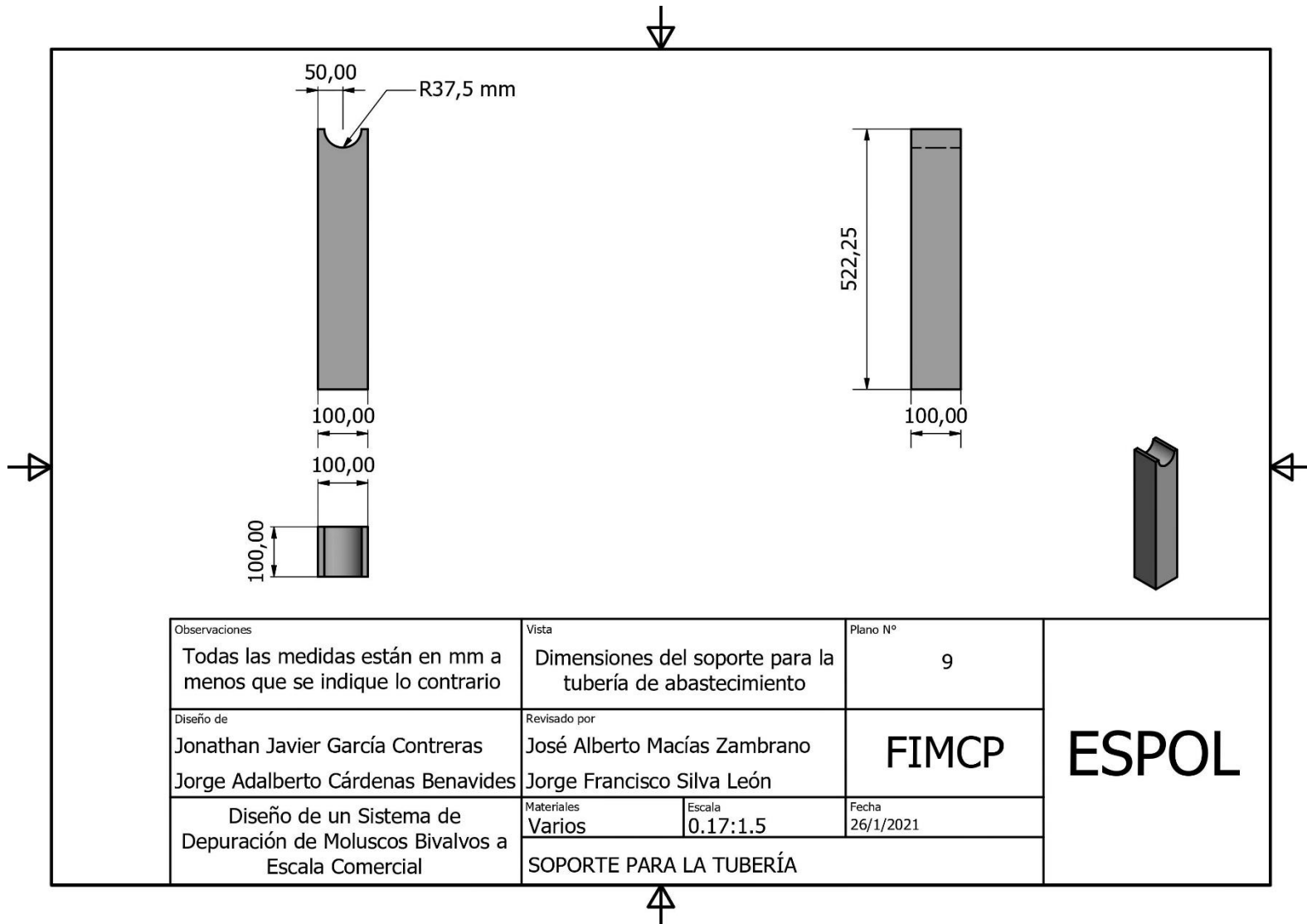


| | | | |
|--|--|--------------|--------------|
| Observaciones | Vista | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | Dimensiones del tanque de depuración | 7 | |
| Diseño de | Revisado por | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales | Escala | Fecha |
| | Varios | Varios | 26/1/2021 |
| | TANQUE DE DEPURACIÓN | | |

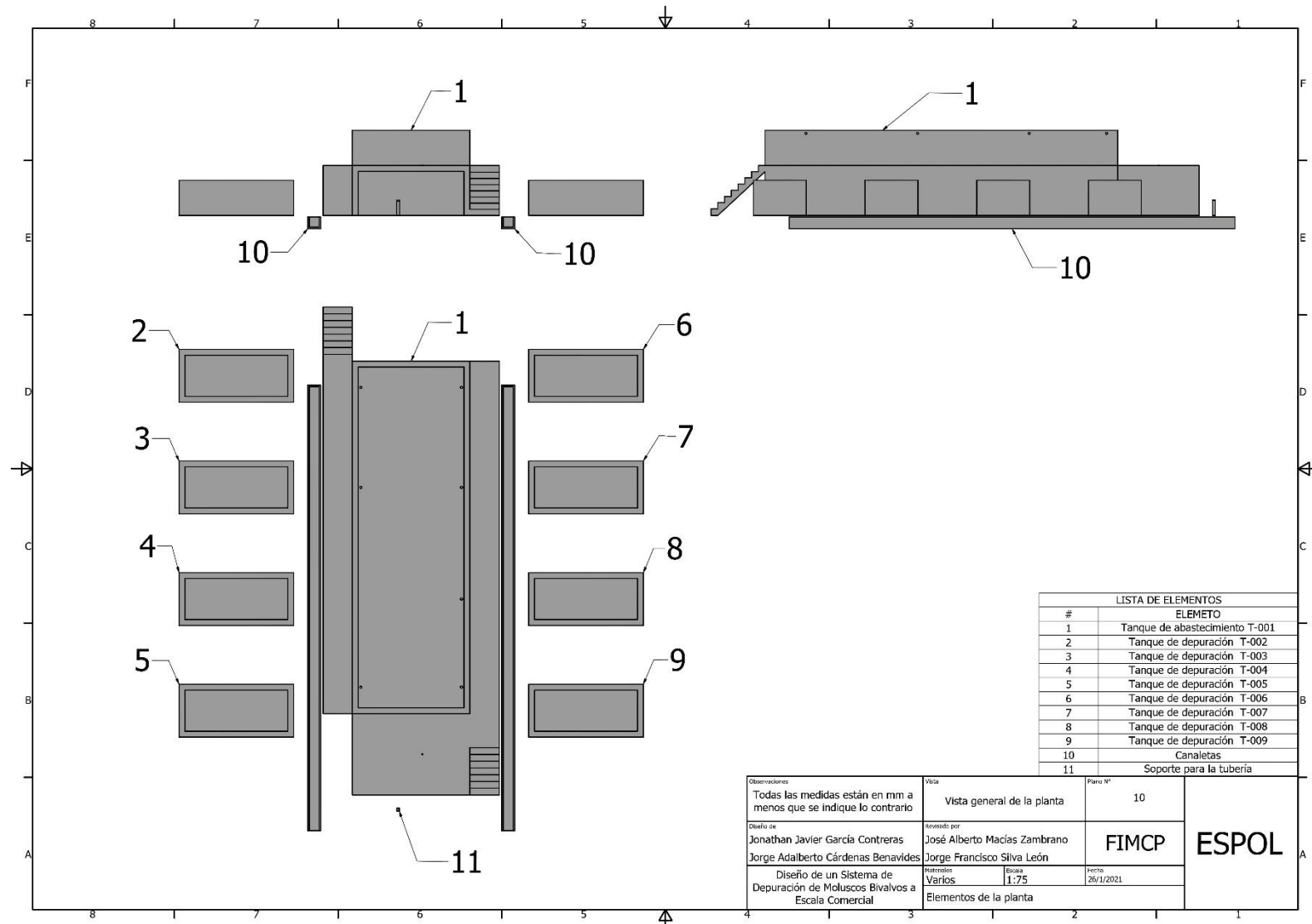
Plano 7 Dimensiones tanque de depuración



Plano 8 Dimensiones canales de desagüe



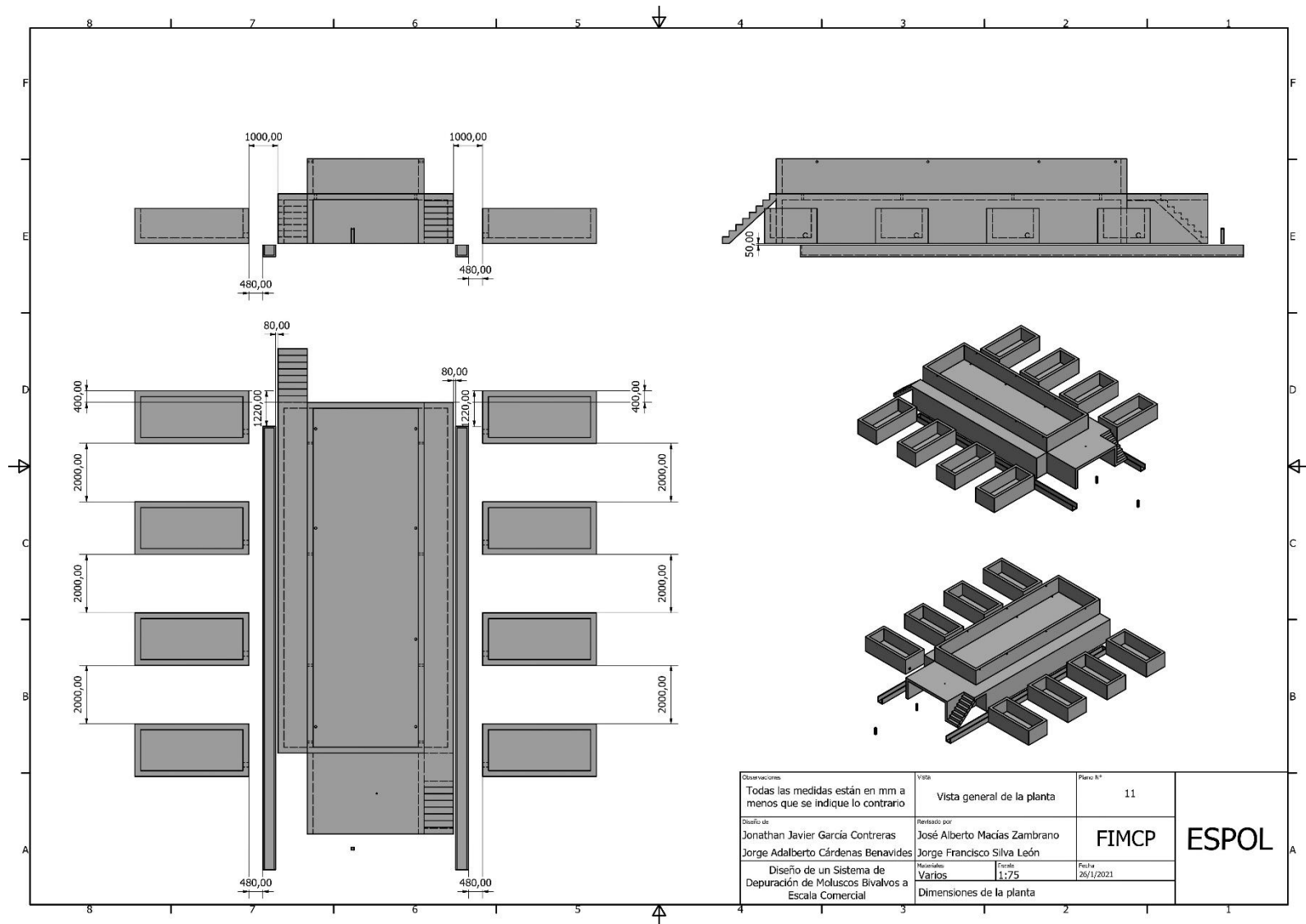
Plano 9 Dimensiones soporte para tubería de abastecimiento



| LISTA DE ELEMENTOS | |
|--------------------|--------------------------------|
| # | ELEMENTO |
| 1 | Tanque de abastecimiento T-001 |
| 2 | Tanque de depuración T-002 |
| 3 | Tanque de depuración T-003 |
| 4 | Tanque de depuración T-004 |
| 5 | Tanque de depuración T-005 |
| 6 | Tanque de depuración T-006 |
| 7 | Tanque de depuración T-007 |
| 8 | Tanque de depuración T-008 |
| 9 | Tanque de depuración T-009 |
| 10 | Canaletas |
| 11 | Soporte para la tubería |

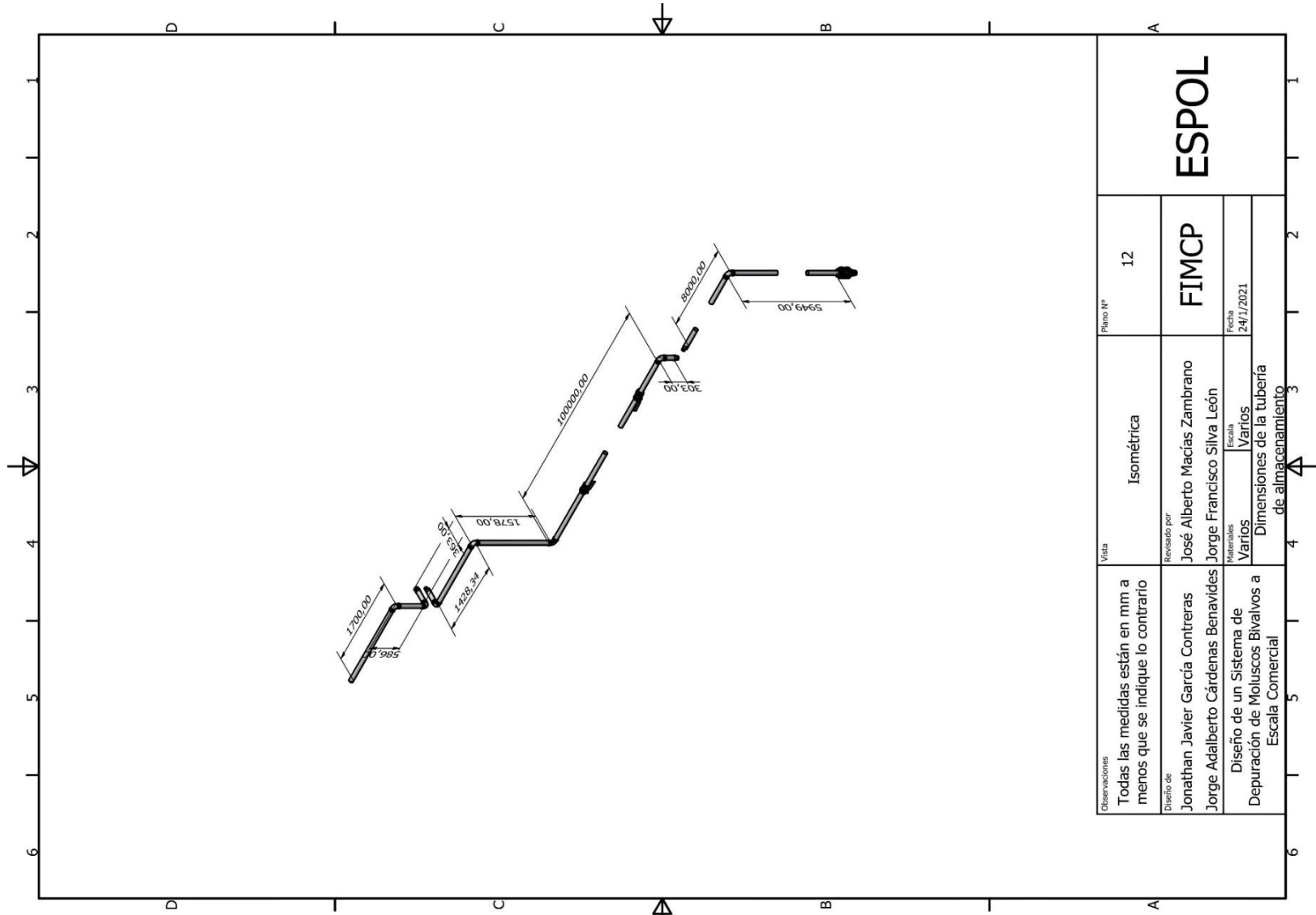
| | | | | |
|---|--|----------------|--------------------|--------------|
| Observaciones | Vista | Plano N° | FIMCP | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | Vista general de la planta | 10 | | |
| Diseño de Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | Revisado por José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales Varios | Escala 1:75 | Fecha 26/1/2021 | |
| | Elementos de la planta | | | |

Plano 10 Vista general de la planta



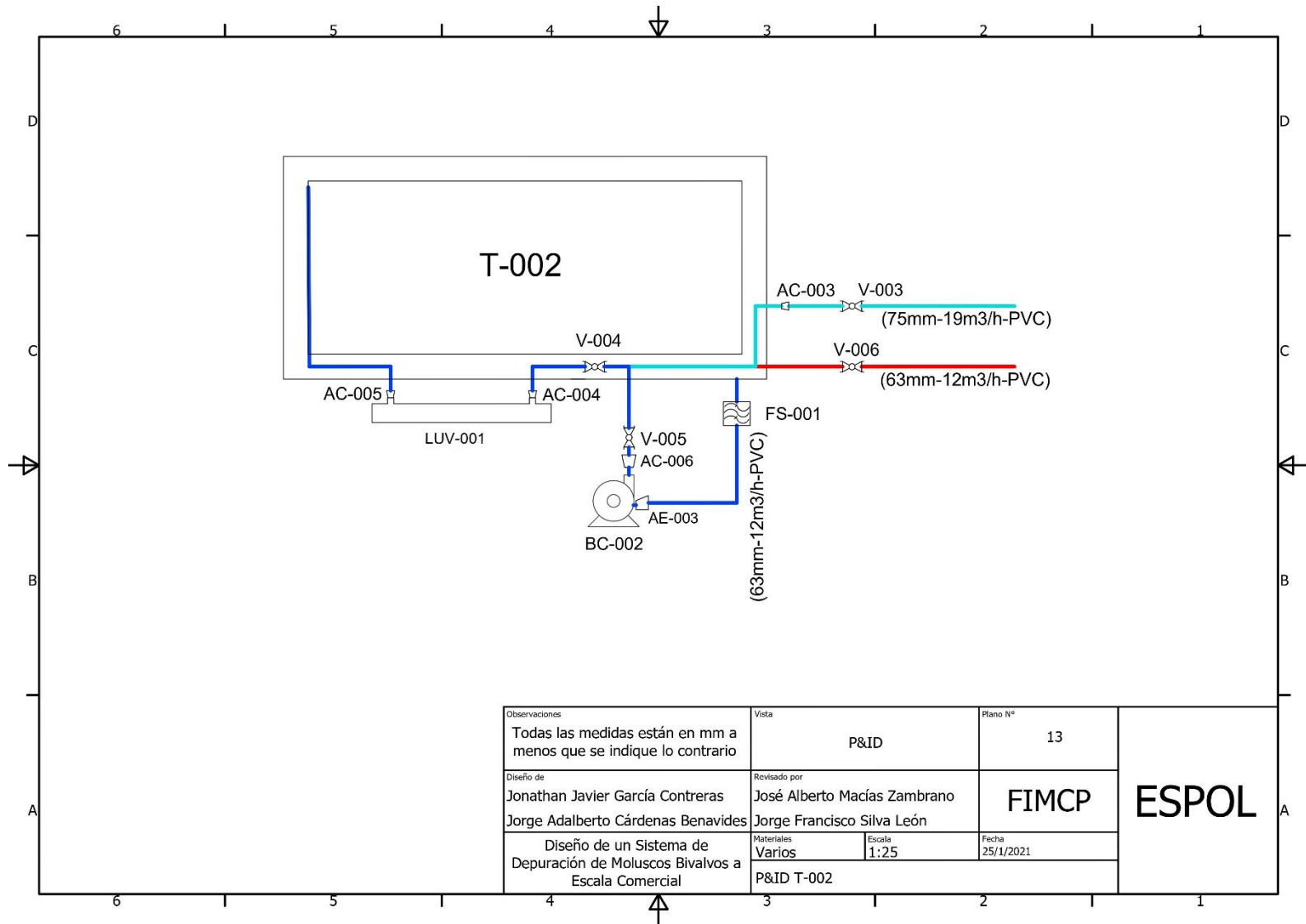
| | | | |
|--|--|----------|-----------|
| Observaciones | Vista | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | Vista general de la planta | 11 | |
| Diseño de | Revisado por | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Mostrado | Fecha | |
| | Varios | 1:75 | 26/1/2021 |
| | Dimensiones de la planta | | |

Plano 11 Vista general de la planta, medidas

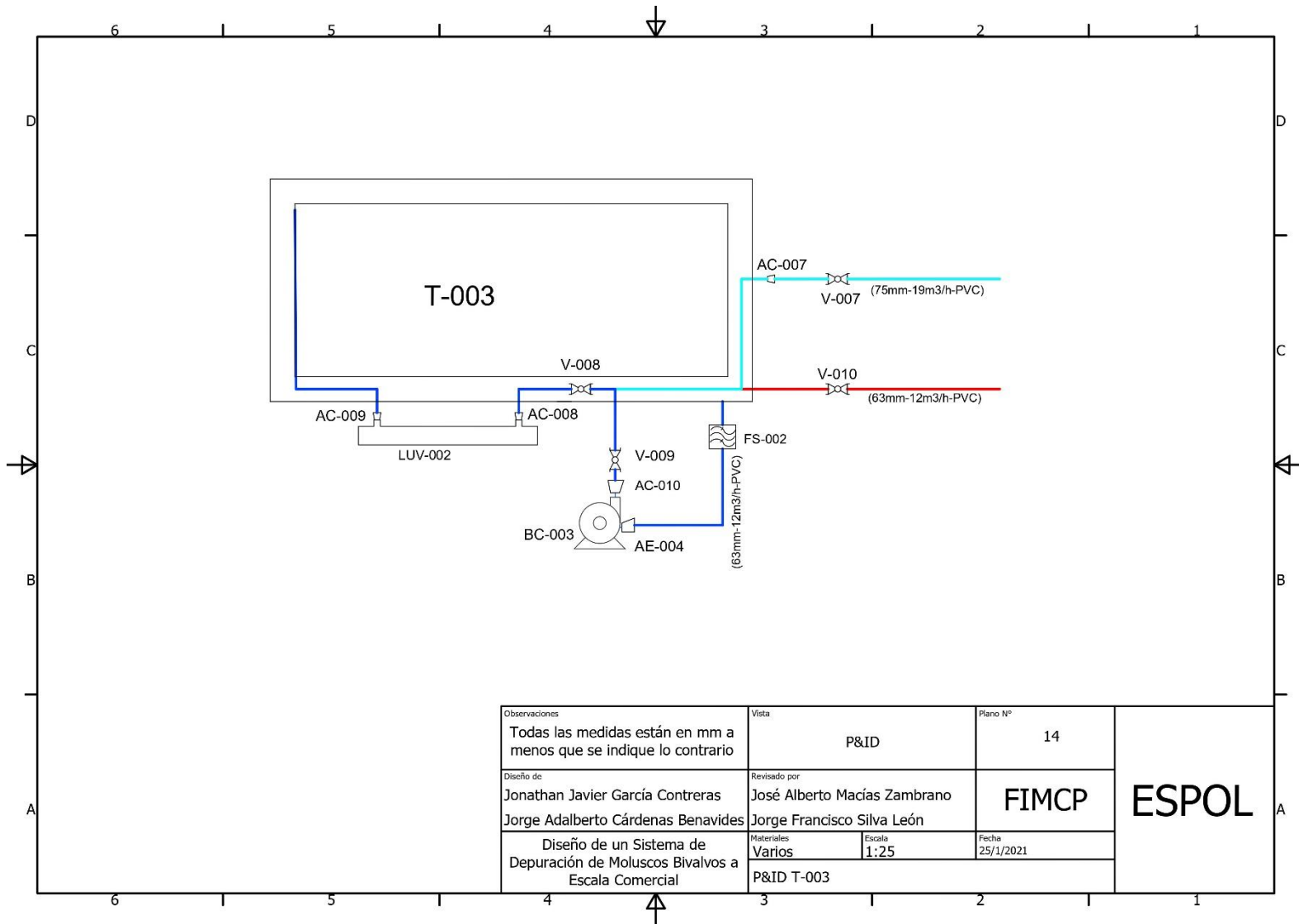


Plano 12 Vista isométrica tuberías de abastecimiento

| | | | | | |
|---|---|--|--|--------------|--------------|
| Observaciones Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | Vista Revisado por José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León Materiales Varios Escala Dimensiones de la tubería de almacenamiento | Plano N° | 12 | ESPOL | |
| | | Diseño de | Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | | FIMCP |
| | | Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Fecha 24/7/2021 | | |
| | | | | | |

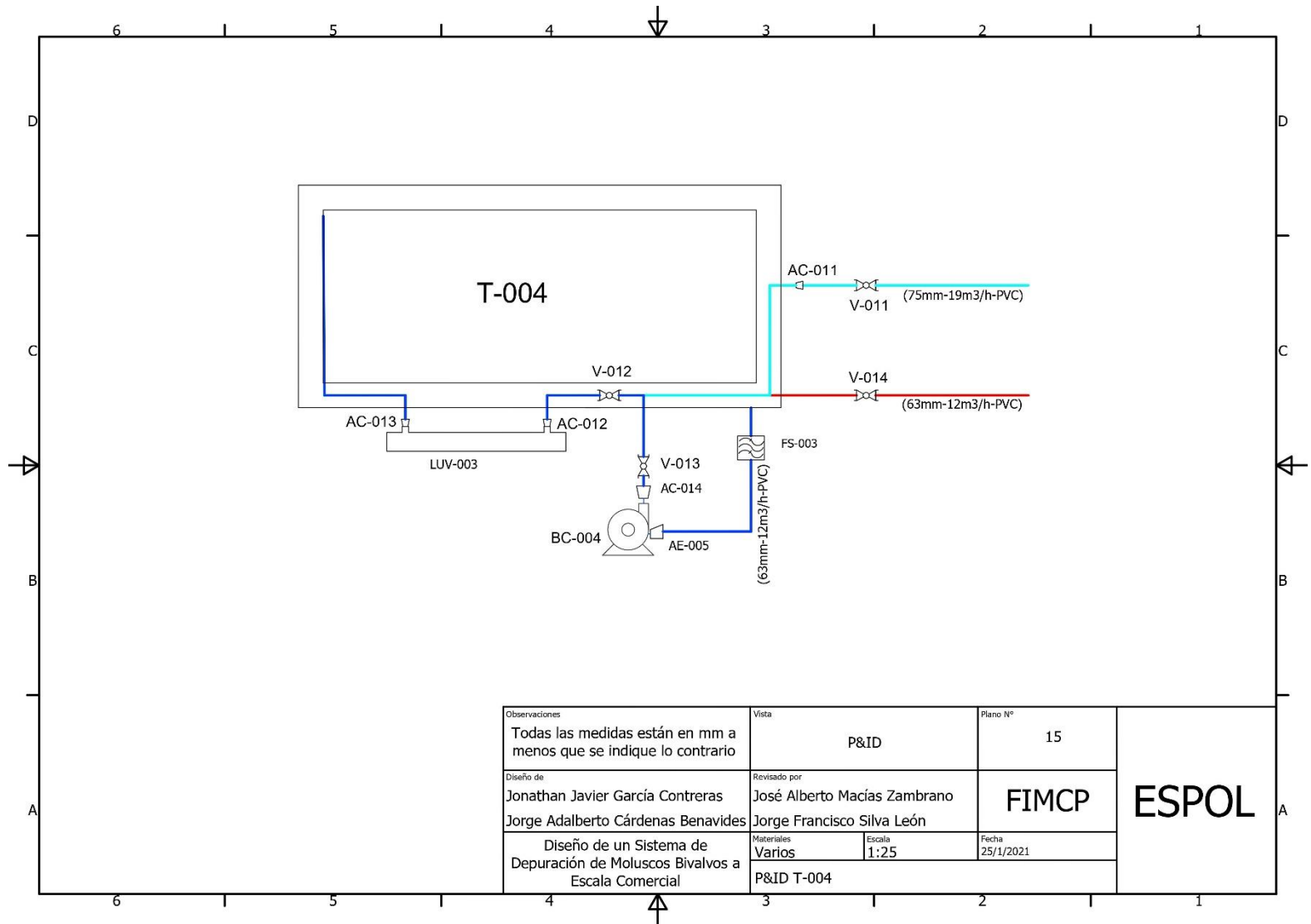


Plano 13 P&ID tanque 2



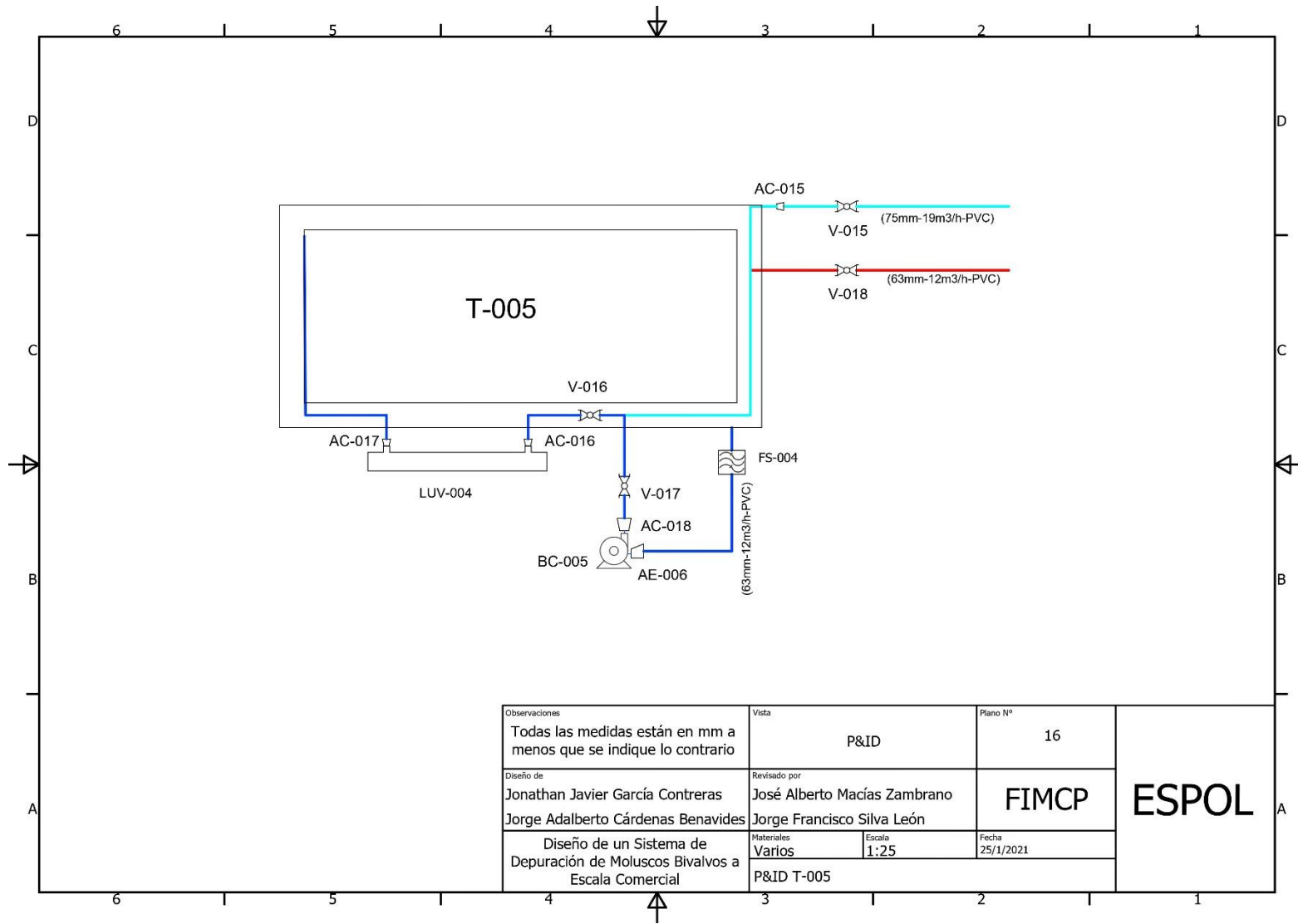
| | | | |
|--|--|----------|--------------|
| Observaciones | Vista | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | P&ID | 14 | |
| Diseño de | Revisado por | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales | Escala | Fecha |
| | Varios | 1:25 | 25/1/2021 |
| | P&ID T-003 | | |

Plano 14 P&ID tanque 3



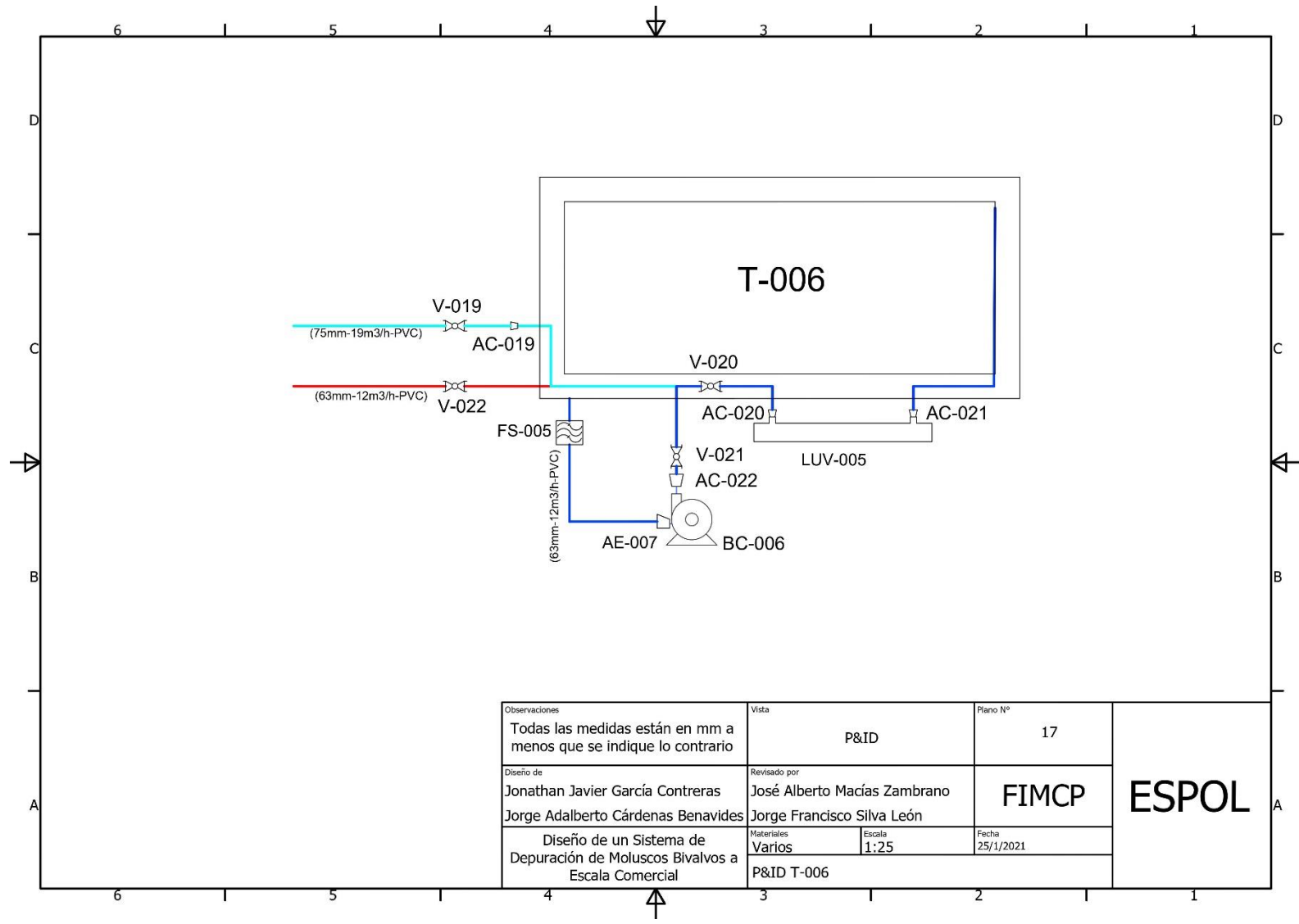
| | | | |
|--|--|----------------|--------------|
| Observaciones | Vista | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | P&ID | 15 | |
| Diseño de | Revisado por | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | Fecha | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales Varios | Escala 1:25 | 25/1/2021 |
| | P&ID T-004 | | |

Plano 15 P&ID tanque 4



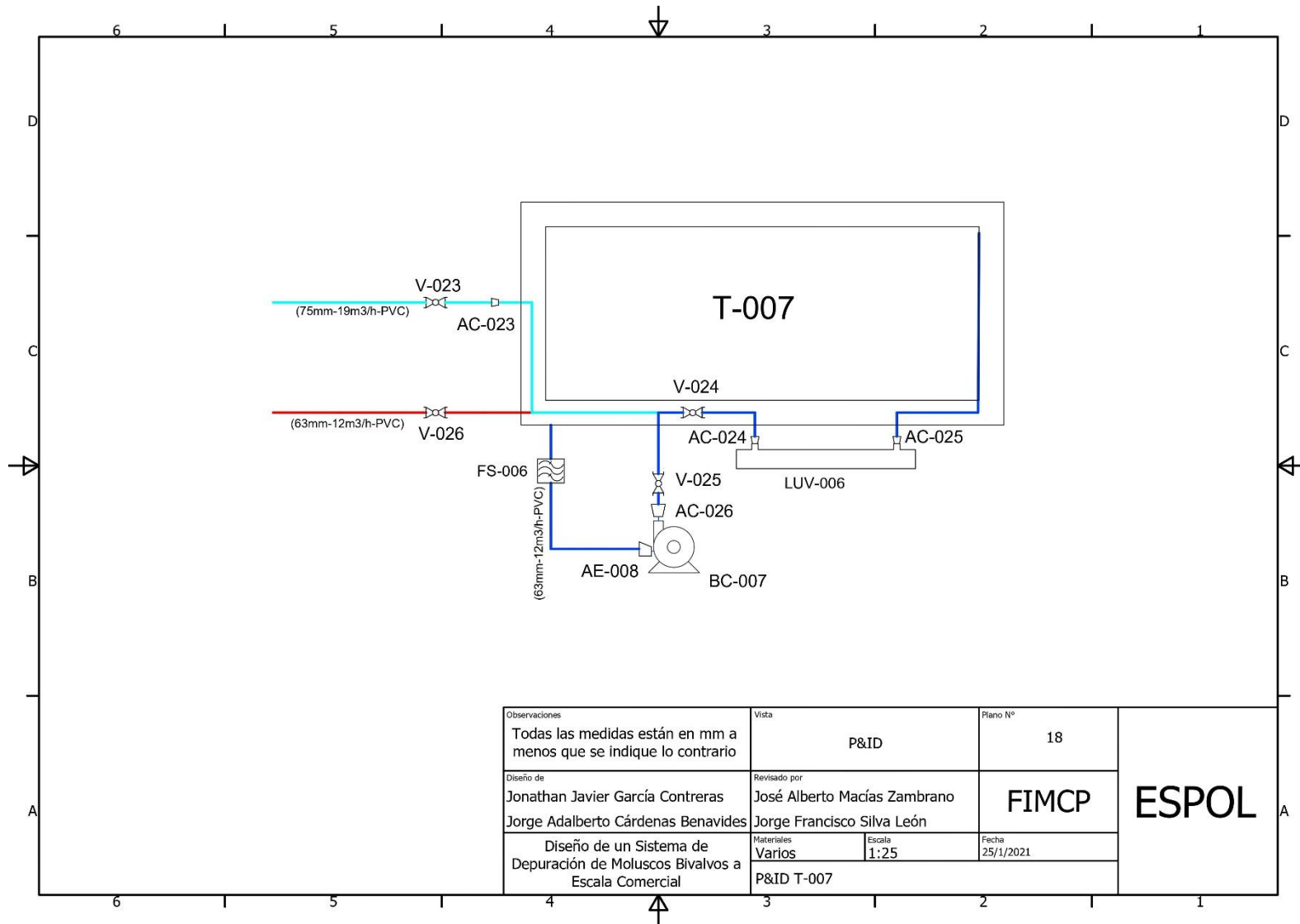
| | | | | |
|--|--|--------|--------------|--------------|
| Observaciones | Vista | | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | P&ID | | 16 | |
| Diseño de | Revisado por | | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales | Escala | Fecha | |
| | Varios | 1:25 | 25/1/2021 | |
| | P&ID T-005 | | | |

Plano 16 P&ID tanque 5



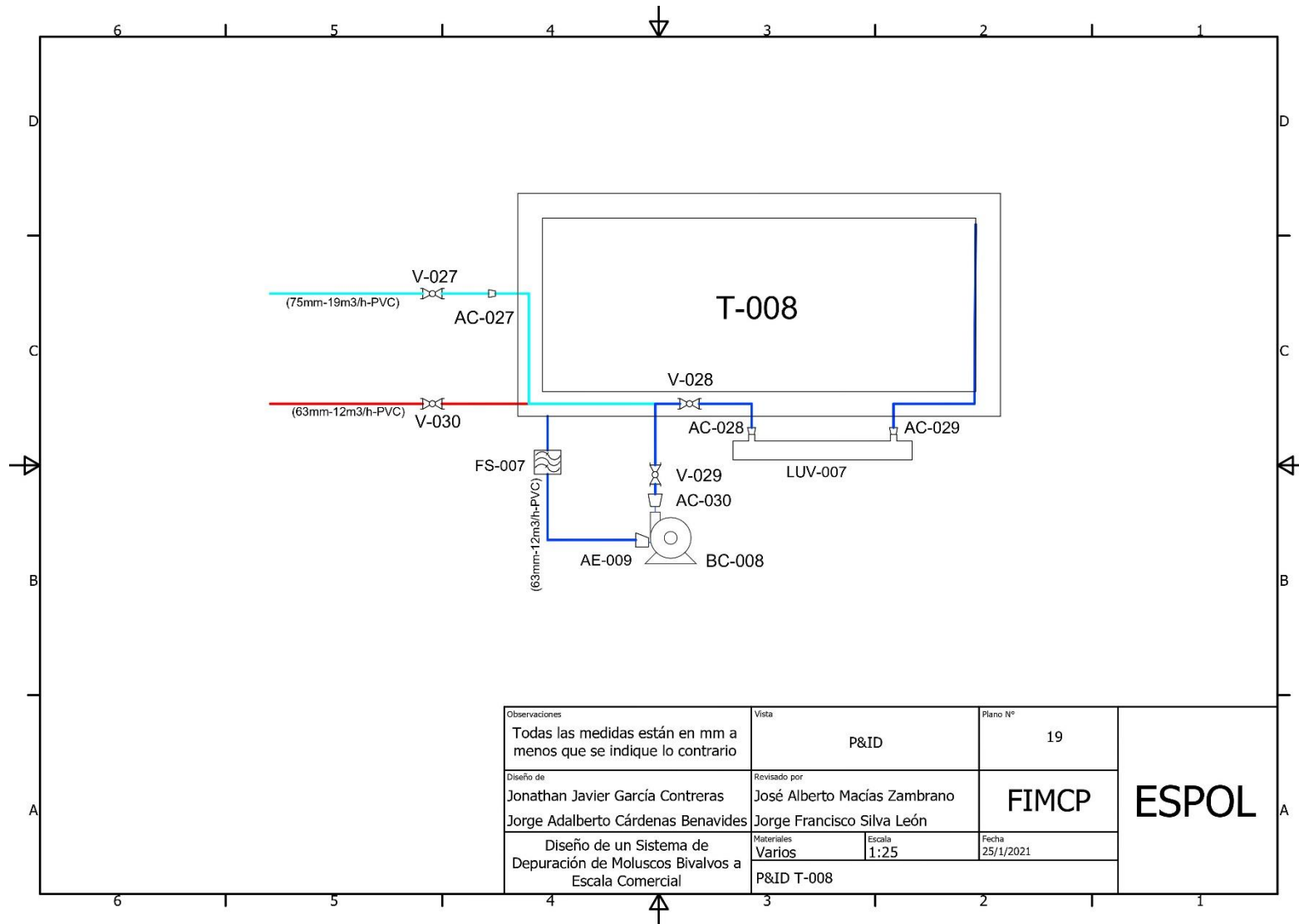
| | | | |
|--|--|----------|--------------|
| Observaciones | Vista | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | P&ID | 17 | |
| Diseño de | Revisado por | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales | Escala | Fecha |
| | Varios | 1:25 | 25/1/2021 |
| P&ID T-006 | | | |

Plano 17 P&ID tanque 6



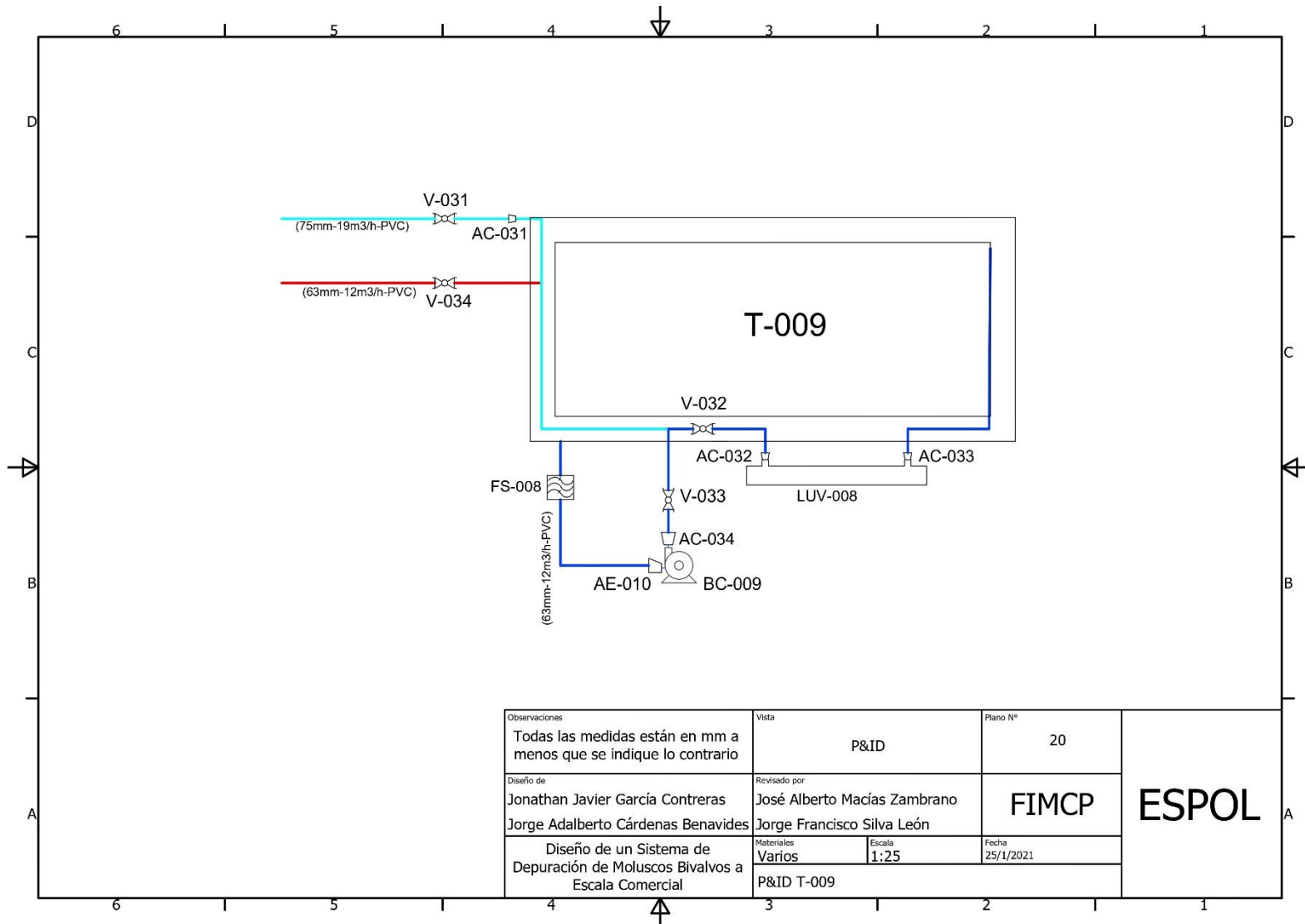
| | | | |
|--|--|----------|--------------|
| Observaciones | Vista | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | P&ID | 18 | |
| Diseño de | Revisado por | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales | Escala | Fecha |
| | Varios | 1:25 | 25/1/2021 |
| | P&ID T-007 | | |

Plano 18 P&ID tanque 7



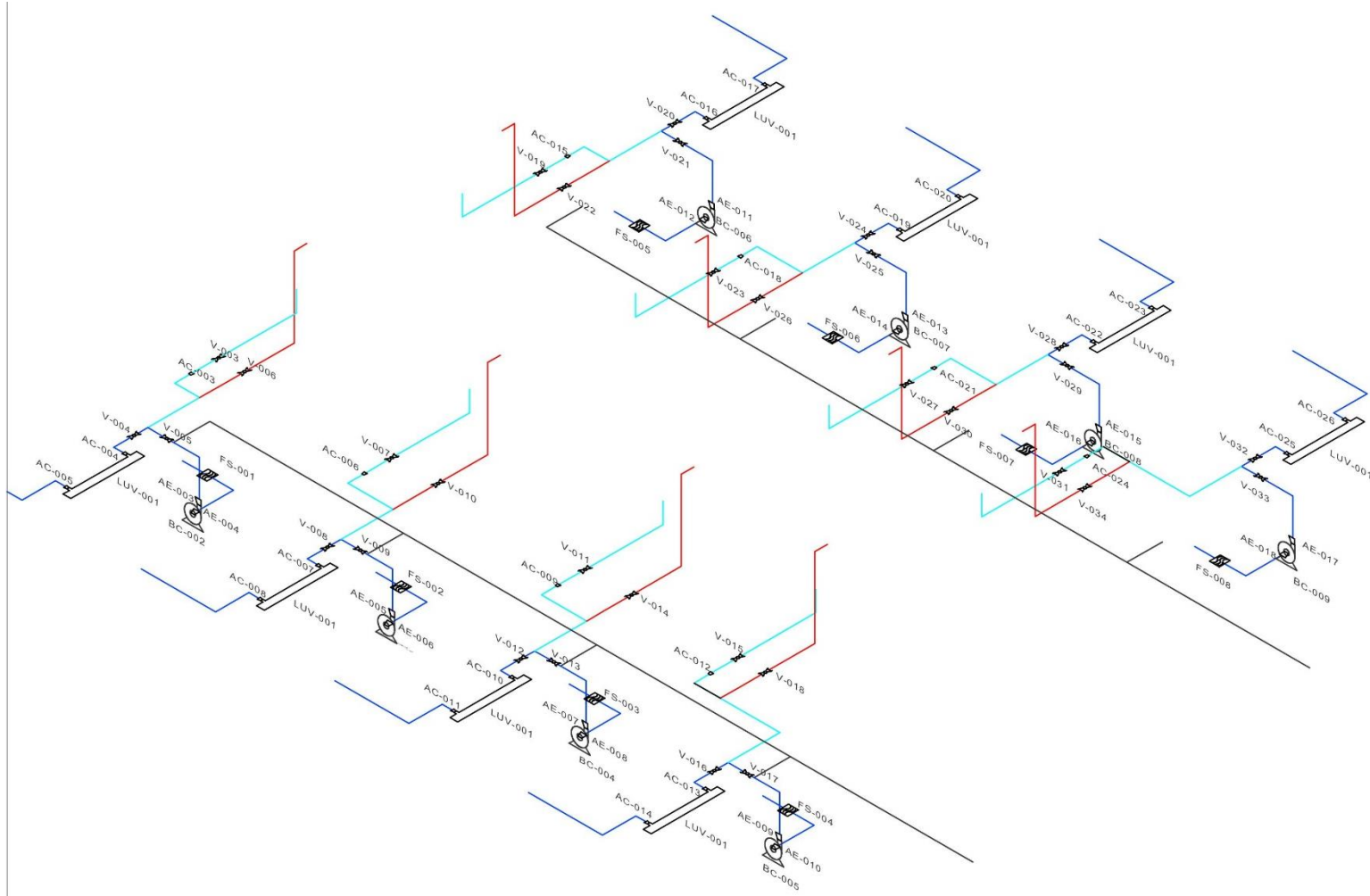
| | | | |
|--|--|----------|--------------|
| Observaciones | Vista | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | P&ID | 19 | |
| Diseño de | Revisado por | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | Fecha | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales | Escala | |
| | Varios | 1:25 | 25/1/2021 |
| | P&ID T-008 | | |

Plano 19 P&ID tanque 8

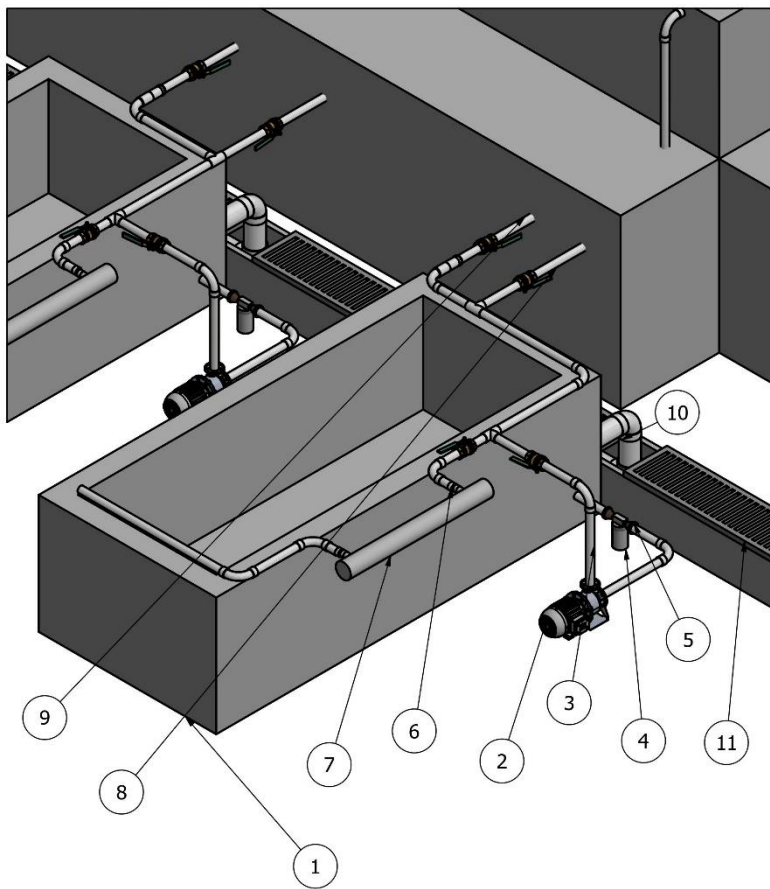


| | | | | |
|--|--|--------|--------------|--------------|
| Observaciones | Vista | | Plano N° | ESPOL |
| Todas las medidas están en mm a menos que se indique lo contrario | P&ID | | 20 | |
| Diseño de | Revisado por | | FIMCP | |
| Jonathan Javier García Contreras Jorge Adalberto Cárdenas Benavides | José Alberto Macías Zambrano Jorge Francisco Silva León | | | |
| Diseño de un Sistema de Depuración de Moluscos Bivalvos a Escala Comercial | Materiales | Escala | Fecha | |
| | Varios | 1:25 | 25/1/2021 | |
| | P&ID T-009 | | | |

Plano 20 P&ID tanque 9



Plano 21 P&ID isométrico tuberías de tanques de depuración



| LISTA DE PIEZAS | | | |
|-----------------|-------|--|--|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA | DESCRIPCIÓN |
| 1 | 8 | Tanque de depuración | Capacidad 4900 Litros |
| 2 | 8 | Bomba Centrífuga SAPURS PENTAIR SPK-2-AQ | 1/2 hp de potencia hidráulica |
| 3 | 8 | Tubería circulación | Tubería de 63 mm |
| 9 | 8 | Tubería llenado | Tubería 75 mm |
| 8 | 8 | Tubería de vaciado | Tubería 63 mm |
| 10 | 8 | Tubería de desague | Tubería de 200 mm |
| 7 | 8 | Lámpara UV Acuamain | Unión 2" 64 GPM máximo |
| 6 | 24 | ISO 3633 Reductor con manguito para juntas cementadas DN63 x DN50 | Cloruro de (poli)vinilo implastificado (PVC-U) - Reductor con manguito para juntas cementadas |
| 11 | 8 | Canaleta | |
| 4 | 8 | Filtro de sedimentación | Entrada/salida de 1" |
| 5 | 16 | Reductor 2 1/2 x 1 | |

Plano 22 Lista de materiales tanque de depuración