



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE PINTURA  
ACRÍLICA CON EFECTO IMPERMEABILIZANTE A PARTIR DE  
POLIESTIRENO EXPANDIDO**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: JEAN PIERRE PILA GUAGUA**

**DIRECTORA: ING. MÓNICA LILIÁN ANDRADE AVALOS**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Jean Pierre Pila Guagua

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jean Pierre Pila Guagua, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de octubre de 2023

A handwritten signature in blue ink, reading "Jean Pierre Pila Guagua". The signature is stylized with large, flowing letters and a long horizontal stroke at the end.

**Jean Pierre Pila Guagua**

**080322528-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE PINTURA ACRÍLICA CON EFECTO IMPERMEABILIZANTE A PARTIR DE POLIESTIRENO EXPANDIDO**, realizado por el señor: **JEAN PIERRE PILA GUAGUA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, MsC <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-10-27
Ing. Mónica Lilián Andrade Avalos, MsC <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-10-27
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes, MsC <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-10-27

## **DEDICATORIA**

A las dos mujeres más importante en mi vida, Angela Guagua, la mujer que me dio la vida, y Alisson Torres, la mujer con quien he decidido compartir el resto de mi vida. Dedico este trabajo a ellas por haber sido parte importante para que el mismo pueda ser llevado a cabo con éxito.

Jean

## **AGRADECIMIENTO**

Primero, agradecer a Dios porque sin el nada podemos hacer, y en su infinita misericordia me permitió tener salud, las ganas y los medios para empezar y concluir esta etapa de mi vida. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi directora Mónica Andrade y asesor Paúl Palmay por sus consejos, sugerencias, paciencia y sabiduría a lo largo de este camino, han sido fundamentales para dar forma a mis ideas y llevarlas a un nivel superior. A mis padres Angela Guagua y Juan Pila por ser mi apoyo material y emocional para todo este proceso, gracias por sus palabras de aliento y ánimo, han sido mi motor en momentos de desafío. A mis hermanos, tíos, primos y amigos. A mi familia política, en especial a mi prometida Alisson Torres por haber sido esa ayuda incondicional durante todo este proceso, y darme fuerzas cuando he sentido ya no poder. Este logro no solo es mío, sino de todos ustedes que han creído en mí y me han acompañado en cada etapa. Por todo eso, quedo muy agradecido con ustedes.

Jean

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Planteamiento del Problema .....	2
1.2	Justificación .....	2
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	Objetivo General .....	3
1.3.2	Objetivos Específicos .....	3

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	4
2.1	Antecedentes de investigación.....	4
2.2	Referencias Teóricas .....	5
2.2.1	Poliestireno .....	5
2.2.1.1	Tipos de Poliestireno.....	5
2.2.1.2	Propiedades y características del poliestireno expandido .....	8
2.2.2	Solventes orgánicos en la industria de pinturas .....	10
2.2.2.1	Composición del solvente tinher acrílico.....	10
2.2.3	Selladores de pintura .....	11
2.2.4	Pintura Acrílica .....	11
2.2.5	Acero inoxidable 304.....	11

2.2.5.1	Características del acero inoxidable 304: .....	11
---------	---	----

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR</b> .....	13
3.1	Localización del Proyecto.....	13
3.2	Ingeniería del Proyecto .....	14
3.2.1	Caracterización de la materia prima.....	14
3.2.2	Determinación de la densidad del poliestireno expandido .....	15
3.3	Diagrama de bloques para la elaboración de la pintura acrílica.....	16
3.3.1	Descripción del proceso .....	16
3.4	Formulación del impermeabilizante para exteriores.....	17
3.5	Caracterización del producto obtenido .....	17
3.5.1	Prueba de material no volátil.....	17
3.5.2	Prueba de densidad.....	18
3.5.3	Prueba de Ph.....	18
3.5.4	Prueba de viscosidad.....	19
3.5.5	Resistencia al lavado .....	19
3.5.6	Resistencia al entizamiento.....	20
3.5.7	Resistencia al almacenamiento.....	20
3.6	Cálculos para el diseño del proceso de operación .....	21

### **CAPÍTULO IV**

4.	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	22
4.1	Determinación del tipo de poliestireno expandido .....	22
4.2	Resultados de la caracterización de la materia prima .....	22
4.3	Formulación del impermeabilizante para exteriores .....	23
4.4	Resultados de la caracterización del producto final .....	24
4.4.1	Prueba de material no volátil.....	24

4.4.2	Prueba de densidad .....	25
4.4.3	Prueba de pH.....	26
4.4.4	Prueba de viscosidad.....	26
4.4.5	Selección de la formulación .....	27
4.5	Resultados del diseño de producción.....	27
4.5.1	Balance de masa en el proceso de mezclado .....	27
4.5.2	Diseño de los reactores.....	28
4.5.2.1	Dimensionamiento del tanque de mezclado para pintura .....	29
4.5.2.2	Resultados del dimensionamiento del tanque de agitación .....	33
4.5.2.3	Dimensionamiento del triturador de poliestireno expandido .....	35
4.5.2.4	Resultados del dimensionamiento del triturador de poliestireno .....	37
4.5.2.5	Dimensionamiento del tanque dosificador de sellador .....	38
4.5.2.6	Resultados del dimensionamiento del tanque dosificador de sellador .....	40
4.5.2.7	Dimensionamiento del tanque dosificador de thinner .....	41
4.5.2.8	Resultados del dimensionamiento del tanque dosificador de thinner .....	42
4.6	Análisis financiero.....	44
4.6.1	Inversión fija.....	44
4.6.2	Proyección de gastos de producción .....	44
4.6.3	Capital de operaciones.....	45
4.6.4	Inversión total.....	46
4.6.5	Costo de producción anual .....	46
4.6.6	Cálculo de precio de venta al público .....	46
4.6.7	Puesta en marcha del proyecto .....	47
4.6.8	Punto de equilibrio.....	47
4.6.9	Utilidad neta .....	48
4.6.10	Valor actual neto (VAN).....	49
4.6.11	Taza interna de retorno (TIR) .....	50
4.6.11.1	Cálculo del TIR .....	50
4.6.11.2	Comprobación del TIR.....	51

<b>4.6.12</b>	<b>Periodo de recuperación .....</b>	<b>51</b>
<b>4.6.13</b>	<b>Beneficio costo del proyecto .....</b>	<b>52</b>
<b>4.7</b>	<b>Factibilidad económica .....</b>	<b>53</b>

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>54</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>55</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Composición del thinner acrílico.....	10
<b>Tabla 3-1:</b> Coordenadas del área.....	13
<b>Tabla 3-2:</b> Características físicas y mecánicas del poliestireno .....	14
<b>Tabla 3-3:</b> Características Químicas del poliestireno.....	15
<b>Tabla 3-4:</b> Cálculo de la densidad del poliestireno .....	15
<b>Tabla 3-5:</b> Tabla de la caracterización .....	17
<b>Tabla 3-6:</b> Prueba de material no volátil .....	18
<b>Tabla 3-7:</b> Prueba de densidad .....	18
<b>Tabla 3-8:</b> Prueba de pH .....	19
<b>Tabla 3-9:</b> Prueba de viscosidad .....	19
<b>Tabla 3-10:</b> Resistencia al lavado .....	19
<b>Tabla 3-11:</b> Resistencia al entizamiento .....	20
<b>Tabla 3-12:</b> Resistencia al almacenamiento.....	21
<b>Tabla 4-1:</b> Caracterización de la materia prima .....	22
<b>Tabla 4-2:</b> Tabla de formulaciones .....	23
<b>Tabla 4-3:</b> Peso de muestras en la prueba de material no volátil.....	24
<b>Tabla 4-4:</b> Porcentaje de no volátiles.....	24
<b>Tabla 4-5:</b> Peso de muestras para prueba de densidad.....	25
<b>Tabla 4-6:</b> Valores de pH.....	26
<b>Tabla 4-7:</b> Valores de viscosidad .....	26
<b>Tabla 4-8:</b> Caracterización del producto final.....	27
<b>Tabla 4-9:</b> Relaciones para el dimensionamiento .....	28
<b>Tabla 4-10:</b> Selección del tipo de agitador.....	31
<b>Tabla 4-11:</b> Datos adicionales.....	32
<b>Tabla 4-12:</b> Dimensionamiento del tanque de agitación.....	33
<b>Tabla 4-13:</b> Potencia del agitador .....	34
<b>Tabla 4-14:</b> Dimensionamiento del tanque de trituración.....	37
<b>Tabla 4-15:</b> Potencia del triturador .....	38
<b>Tabla 4-16:</b> Dimensionamiento del tanque dosificador de sellador.....	40
<b>Tabla 4-17:</b> Dimensionamiento del tanque dosificador de thinner .....	42
<b>Tabla 4-18:</b> Presupuesto inicial.....	44
<b>Tabla 4-19:</b> Costos de materia prima e insumos .....	44
<b>Tabla 4-20:</b> Costos de trabajadores.....	45

<b>Tabla 4-21:</b> Costos de servicios básicos .....	45
<b>Tabla 4-22:</b> Gastos de producción .....	45
<b>Tabla 4-23:</b> Inversión total del proyecto .....	46
<b>Tabla 4-24:</b> Costo de producción anual .....	46
<b>Tabla 4-25:</b> Costos para la puesta en marcha del proyecto .....	47
<b>Tabla 4-26:</b> Flujo en caja en 5 años proyectados .....	49
<b>Tabla 4-27:</b> Valor actual neto del proyecto.....	50
<b>Tabla 4-28:</b> Tasa interna de retorno .....	51
<b>Tabla 4-29:</b> Comprobación del TIR .....	51
<b>Tabla4-30:</b> Periodo de recuperación del proyecto .....	52

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Siglas del Poliestireno.....	5
<b>Ilustración 2-2:</b> Poliestireno de alto impacto.....	6
<b>Ilustración 2-3:</b> Poliestireno extruido.....	6
<b>Ilustración 2-4:</b> Poliestireno Cristal.....	7
<b>Ilustración 2-5:</b> Poliestireno Expandido.....	7
<b>Ilustración 3-1:</b> Croquis del laboratorio de Procesos Industriales.....	13
<b>Ilustración 3-2:</b> Diagrama de bloques del proceso.....	16
<b>Ilustración 4-1:</b> Balance de masa del proceso de mezclado.....	28
<b>Ilustración 4-2:</b> Diseño básico de un tanque de agitación.....	29
<b>Ilustración 4-3:</b> Correlación entre el número de Reynolds y numero de potencia.....	33
<b>Ilustración 4-4:</b> Diseño del tanque de mezclado.....	34
<b>Ilustración4-5:</b> Diseño del Triturador de poliestireno.....	38
<b>Ilustración 4-6:</b> Diseño del tanque dosificador.....	40
<b>Ilustración 4-7:</b> Diseño del tanque dosificador.....	43
<b>Ilustración 4-8:</b> Vista superior de la línea de producción.....	43

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** RECOLECCIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

**ANEXO B:** TRITURACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

**ANEXO C:** DILUCIÓN DEL POLIESTIRENO EN EL SOLVENTE

**ANEXO D:** PESAJE DEL SELLADOR

**ANEXO E:** SISTEMA DE MEZCLADO A PEQUEÑA ESCALA

**ANEXO F:** MEZCLADO DE LOS REACTIVOS

**ANEXO G:** PRUEBA DE VISCOSIDAD DE LA PINTURA OBTENIDA

**ANEXO H:** PRUEBA DE pH DE LA PINTURA OBTENIDA

**ANEXO I:** PRUEBA DE DENSIDAD DE LA PINTURA OBTENIDA

**ANEXO J:** DISEÑO DEL TANQUE DE TRITURACIÓN

**ANEXO K:** DISEÑO DEL TANQUE MEZCLADOR

**ANEXO L:** DISEÑO DE LOS TANQUE DOSIFICADORES

**ANEXO M:** DISEÑO DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN

## RESUMEN

En el presente proyecto, se llevó a cabo el diseño de un proceso de obtención de pintura acrílica con efecto impermeabilizante a partir de poliestireno expandido. Para este diseño se realizó la caracterización de la materia prima, que fue el poliestireno expandido con base a la norma ASTM D6817:2018, además se validó el proceso mediante los parámetros establecidos en la norma NTC 1335:2015. Se realizó una experimentación a pequeña escala en el laboratorio para determinar las variables que influyen en el proceso, entre las cuales están: la velocidad de rotación para la trituration del poliestireno de 150 RPM, el tamaño de partícula de 1cm, la concentración de la solución de poliestireno expandido en el solvente de 29%, la relación entre la solución de poliestireno en solvente con el sellador de 4:6, el tiempo de mezclado es de 5 minutos, y la velocidad del mezclado es de 300 RPM. Por otra parte, se definió la formulación para obtener 25 L de pintura acrílica a partir de 3.56 kg de poliestireno expandido, de esta manera se obtuvieron los datos adecuados para el dimensionamiento de los equipos necesarios, el cual tuvo como base las fórmulas deducidas de la recopilación bibliográfica de las proporciones estándar para el diseño de un sistema de mezclado y la geometría cilíndrica, obteniendo dos tanques de base cónica para la dosificación de aditivos, uno de 16 L para el sellador, y uno de 11L para el thinner, un tanque para la reducción de tamaño del poliestireno expandido de 142 L, y un tanque de mezclado de 25 L para producir la pintura acrílica.

**Palabras clave:** <RECICLAJE QUÍMICO>. <POLIESTIRENO EXPANDIDO>, <PINTURA ACRÍLICA>, <MEZCLADO>, <CARACTERIZACIÓN>, <DIMENSIONAMIENTO>, <RECICLAJE QUÍMICO>.

2091-DBRA-UPT-2023



## ABSTRACT

The use of expanded polystyrene in single-use products causes a large amount of waste and pollution, which is aggravated by the lack of treatment and reuse. In the present project, the design of a process to obtain acrylic paint with waterproofing effect from expanded polystyrene was carried out. For this design, the characterization of the raw material, which was expanded polystyrene based on the ASTM D6817:2018 standard, was performed, in addition, the process was validated using the parameters established in the NTC 1335:2015 standard. A small-scale experimentation was conducted in the laboratory to determine the variables that influence the process, these are: the rotation speed for crushing the polystyrene of 150 RPM, the particle size of 1cm, the concentration of the expanded polystyrene solution in the solvent of 29%, the ratio between the polystyrene solution in solvent with the sealant of 4:6, the mixing time is 5 minutes, and the speed of the mixing is 300 RPM. On the other hand, the formulation was defined to obtain 25 L of acrylic paint from 3.56 kg of expanded polystyrene, in this way the adequate data were obtained for the dimensioning of the necessary equipment, which was based on the formulas deduced from the bibliographic compilation of the standard proportions for the design of a mixing system and the cylindrical geometry, obtaining two conical base tanks for the dosing of additives, one of 16 L for the sealant, and one of 11 L for the thinner, a tank for the size reduction of the expanded polystyrene of 142 L, and a mixing tank of 25 L to produce the acrylic paint.

**Keywords:** <CHEMICAL RECYCLING>. <EXPANDED POLYSTYRENE>, <ACRYLIC PAINT>, <MIXING>, <CHARACTERIZATION>, <DIMENSIONING>, <CHEMICAL RECYCLING>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

## **INTRODUCCIÓN**

El poliestireno expandido es un material plástico ligero, de uso duradero y de múltiples usos en diversas industrias; lo que genera grandes residuos sólidos de este polímero con fondo impacto ambiental, debido a su largo tiempo de desintegración. Una alternativa para reciclar el poliestireno expandido considerado residuo de las industrias, es la degradación de sus componentes base para utilizarlo como aditivo en la industria de las pinturas, para optimizar sus propiedades y minimizar el impacto ambiental, brindándole valor agregado a un producto que está considerado como desecho.

Este poliestireno expandido al ser considerado un residuo de procesos industriales o de actividades cotidianas, necesita una transformación mediante operaciones unitarias de naturaleza físicas y químicas para ser introducidos en la pintura y garantizar la calidad del producto final. El diseño del proceso tendrá operaciones de trituración y mezclado con su correcto dimensionamiento para logra alcanzar la mezcla homogénea y eficiente, lo que conduce a un proceso de producción más rentable y confiable. La comparación con la norma NTC 1335:2015 es importante para el control de calidad del producto porque proporciona una referencia estándar para evaluar el cumplimiento de los requisitos y especificaciones de calidad. El análisis financiero del producto es fundamental para evaluar el rendimiento, la rentabilidad del proceso productivo.

Por lo mencionado con anterioridad, el presente Trabajo de Integración Curricular consiste en el diseño de un proceso de obtención de pintura acrílica con efecto impermeabilizante a partir de residuos de poliestireno expandido, convirtiéndose en una solución prometedora de aprovechamiento de desechos plásticos generando procesos más sostenibles dentro de la industria de las pinturas.

## **CAPÍTULO I**

### **1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del Problema**

El Poliestireno expandido es un tipo de plástico con varias cualidades, entre ellas la resistencia mecánica, una dureza moderada, bajo costo, buena capacidad de resistir impactos, y de ser un buen aislante térmico, tiene durabilidad y resistencia al agua (Nisar et al. 2021, p. 2), así, tenemos varias aplicaciones en sectores como alimentación, educación, embalaje, fabricación y otros, donde su demanda es elevada. No obstante, debido al elevado consumo a nivel mundial, se genera una producción masiva de estos artículos, los cuales suelen ser de un solo uso y, por tanto, se convertirán rápidamente en residuos. Este tipo de plástico requiere de un tiempo aproximado de hasta 500 años para descomponerse o degradarse (Nisar et al. 2019, p. 2), lo que indica que este material, a nivel mundial está generando una gran acumulación de residuos, lo que a su vez provoca una importante contaminación ambiental y la saturación de los vertederos de basura. Esto conlleva un impacto ambiental negativo en las zonas cercanas a su eliminación, ya que este material a menudo no se somete a tratamientos de recuperación o reutilización en la fabricación de nuevos productos.

#### **1.2 Justificación**

El consumo diario de este material plástico genera una considerable acumulación de residuos a nivel mundial sin que reciba un tratamiento de reciclaje posterior a su uso, por lo que se propone un diseño de producción que contrarreste este efecto nocivo al medio ambiente, el cual consiste en utilizar el poliestireno expandido, un material con una gran producción a nivel mundial con un índice alto de contaminación al ambiente, como materia prima para la elaboración de una pintura acrílica mediante un tratamiento químico para reciclar este material y así aprovechar las características de impermeabilidad que presenta al ser un plástico, de fácil acceso, económico, y nos ayudaría a reducir los índices de contaminación ambiental de este material. La pintura acrílica, al ser un producto importante en la industria de la construcción civil, tiene una alta demanda, lo que nos conllevaría a una mayor producción y esto ayudaría a disminuir la cantidad de poliestireno expandido ya existente como residuo.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

- Diseñar un proceso de obtención de pintura acrílica con efecto impermeabilizante a partir de poliestireno expandido

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Realizar la caracterización fisicoquímica y mecánicas del poliestireno expandido con base a la norma ASTM D6817:2018.
- Identificar las variables para el diseño del proceso de producción de la pintura acrílica con efecto impermeabilizante.
- Aplicar cálculos de ingeniería para el diseño propuesto.
- Realizar la validación técnica y económica del proyecto del diseño propuesto mediante la caracterización fisicoquímica de la pintura acrílica con base a la norma NTC 1335:2015.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de investigación

Assaad y otros (2022, p. 3) en su artículo “Reciclaje de residuos de hormigón poliestireno expandido en paneles sándwich ligeros y aplicaciones estructurales” define al poliestireno expandido como un material plástico ampliamente utilizado en la construcción debido a su capacidad de aislamiento térmico y acústico. Sin embargo, este material también puede reciclarse y utilizarse como materia prima para fabricar nuevos productos plásticos, como pinturas y recubrimientos, lo que puede tener un impacto significativo en la construcción de proyectos arquitectónicos y urbanos. De hecho, se están desarrollando tecnologías de reciclaje para los desechos poco tratados, con el objetivo de producir pinturas a base de poliestireno expandido y reducir el impacto ambiental.

En el artículo de Gutiérrez-Velásquez y otros (2022, p. 3-5) “Caracterización de residuos de poliestireno expandido como aglomerante y material de recubrimiento” tenemos un proceso para reciclar 5 kg de poliestireno expandido y convertirlo en 20 litros de pintura de alta calidad. Primero, la materia prima se somete a un proceso de mezcla con distintos aditivos para obtener una solución concentrada con una consistencia similar a la miel. Luego, esta solución se utiliza como materia prima para elaborar pinturas con diferentes características técnicas. Desde pinturas de alto tráfico para la demarcación vial y el pintado de pisos, hasta pinturas para uso doméstico que se pueden aplicar en distintos colores sobre muros o como impermeabilizantes de superficies. Este proceso de reciclaje es amigable con el medio ambiente, ya que reduce la cantidad de residuos y al mismo tiempo produce una pintura de alta calidad. Además, la pintura obtenida tiene una excelente adherencia al hormigón y asfalto, fácil de aplicar tanto manualmente como con sistemas de spray, y se lavan y secan rápidamente.

López Pedrajas y otros (2022, p. 1-3) en su artículo “Suspensión de nanopartículas de poliestireno como aditivo para el desarrollo de compuestos de yeso aislantes e impermeables” realiza un tratamiento a los desechos de poliestireno expandido con un solvente orgánico hasta obtener una mezcla con una concentración del 10% al 80% p/p para luego decantar las impurezas de la mezcla obtenida, después de un tiempo entre 24 y 120 horas se recolecta el sobrenadante obtenido y se realiza una dispersión de pigmento en el mismo durante 10 a 30 minutos a una velocidad entre

1.000 y 2.000 rpm. López Pedrajas y otros sugieren mezclar el producto final con un solvente orgánico, entre 300 a 1.000 rpm, en el caso de ser necesario, hasta lograr la concentración deseada.

## 2.2 Referencias Teóricas

### 2.2.1 *Poliestireno*

El Poliestireno (PS) es un polímero termoplástico obtenido a través de la polimerización del monómero estireno, es uno de los seis tipos de plásticos con identificación propia en el sistema actual de clasificación de envases. En el caso de los envases fabricados con este material, se identifican con el número seis alrededor de las tres flechas del símbolo universal de reciclaje (Mohammed y Rao 2023, p. 2).



**Ilustración 2-1:** Siglas del Poliestireno

**Fuente:** (Mohammed y Rao 2023)

#### 2.2.1.1 *Tipos de Poliestireno*

- Poliestireno de Alto Impacto

El Poliestireno de Alto Impacto es una variedad del poliestireno que se caracteriza por su alta resistencia al impacto, gracias a la adición de polibutadieno. El poliestireno es un polímero naturalmente frágil a temperatura ambiente, por lo que esta modificación mejora su capacidad de absorción de golpes y choques. Se designa comúnmente como HIPS (HIPS, High Impact Polystyrene) o PSAI (PSAI, Poliestireno de Alto Impacto) (Meng et al. 2023, p. 2).



**Ilustración 2-2:** Poliestireno de alto impacto

Fuente: (Meng et al. 2023)

- Poliestireno Extruido

El Poliestireno Extruido (XPS) es una espuma rígida obtenida mediante la extrusión del poliestireno con un gas espumante, y se utiliza principalmente como bebidas térmicas. A diferencia del EPS, el XPS posee propiedades, distintas entre ellas, la capacidad de resistir la humedad, lo que lo convierte en un material ideal para su instalación en cubiertas y otros espacios expuestos a la intemperie (Jin et al. 2022, p. 2).



**Ilustración 2-3:** Poliestireno extruido

Fuente: (Jin et al. 2022)

- Poliestireno Cristal

El Poliestireno Cristal es un polímero multifacético utilizado en diversos sectores, es un plástico rígido y resistente al calor, muy valorado por su transparencia y brillo. Su uso se extiende a

productos que requieren estas características, como envases, pequeñas ventanas o visores, y equipos de laboratorio (Tran et al. 2020, p. 2).



**Ilustración 2-4:** Poliestireno Cristal

**Fuente:** (Tran et al. 2020)

- Poliestireno expandido

El Poliestireno Expandido (EPS) es un material plástico rígido y celular, fabricado mediante el moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno o uno de sus copolímeros. Este material presenta una estructura celular cerrada, rellena de aire, que le confiere propiedades como su ligereza, su abreviatura EPS deriva del inglés "Expanded Polystyrene" y su fórmula química es  $C_8H_8$  (Hidalgo-Crespo et al. 2022, p. 2).



**Ilustración 2-5:** Poliestireno Expandido

**Fuente:** (Hidalgo-Crespo et al. 2022)

### 2.2.1.2 *Propiedades y características del poliestireno expandido*

- Densidad

Los productos y artículos fabricados con EPS se destacan por su gran ligereza y resistencia, lo que los hace muy versátiles y útiles en diversas aplicaciones. Diferente del uso al que se destinen, las densidades del EPS pueden oscilar entre los 10kg/m<sup>3</sup> y los 35kg/m<sup>3</sup>, abarcando así una amplia gama de necesidades y requerimientos (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

- Color

El color natural de poliestireno expandido es blanco, esto se debe a la refracción de la luz (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

- Resistencia mecánica

La densidad del material guarda una estrecha relación con las propiedades de resistencia mecánica (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

- Aislamiento térmico

El Poliestireno Expandido destaca por su uso como aislante térmico en los cerramientos de los edificios, así como en el envase y embalaje de alimentos frescos y perecederos, como las cajas de pescado. Gracias a su capacidad para mantener la temperatura y proteger los productos, el EPS se ha convertido en un material muy valorado en estos campos. La capacidad de aislamiento térmico del Poliestireno Expandido se debe a su estructura celular única, compuesta principalmente por aire ocluido dentro de una estructura de poliestireno. De hecho, aproximadamente el 98% del volumen del material es aire, mientras que solo el 2% restante es material sólido de poliestireno. Como el aire en reposo es un excelente aislante térmico, esta estructura celular del EPS lo convierte en un material muy eficaz para aislar temperaturas en una amplia variedad de aplicaciones (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

- Comportamiento frente al agua y vapor de agua.

A diferencia de otros materiales de aislamiento y embalaje, el EPS no es higroscópico, lo que significa que no absorbe humedad fácilmente. De hecho, incluso al sumergir completamente el

material en agua, el nivel de absorción es mínimo, con valores que oscilan entre el 1% y el 3% en volumen. Esto se debe a la estructura celular cerrada del EPS, que impide que el agua penetre en su interior y lo dañe, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones que requieren una baja absorción de agua. (ensayo por inmersión después de 28 días) (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

A diferencia del agua líquida, el vapor de agua sí puede penetrar en la estructura celular del EPS cuando se produce un gradiente de presión y temperatura entre ambos lados del material (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

- Estabilidad dimensional.

Los productos de EPS, como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica que, para los productos de EPS, es independiente de la densidad y se sitúa en los valores que oscilan en el intervalo  $5-7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , es decir entre 0,05 y 0,07 mm. por metro de longitud y grado Kelvin (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

A modo de ejemplo una plancha de aislamiento térmico de poliestireno expandido de 2 metros de longitud y sometida a un salto térmico de  $20^\circ \text{C}$  experimentará una variación en su longitud de 2 a 2,8 mm (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

- Estabilidad frente a la temperatura.

Este material no tiene límite inferior en cuanto al rango de temperaturas en el que puede usarse con total seguridad, excepto por las variaciones dimensionales por contracción. Con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los  $100^\circ \text{C}$  para acciones de corta duración, y alrededor de los  $80^\circ \text{C}$  para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

- Comportamiento frente a factores atmosféricos.

La resistencia del poliestireno expandido a diferentes factores es muy alta, sin embargo, la radiación ultravioleta puede afectar su superficie y provocar fragilidad, lo que puede ser contrarrestado con la aplicación de pinturas, revestimientos y recubrimientos. Por otro lado, no hay límites de temperatura mínima para su uso seguro, aunque pueden presentar variaciones dimensionales por contracción (Eskander et al. 2021, p. 2-5).

### 2.2.1.3 Tipos de poliestireno expandido

Con base a la norma ASTM D6817:2018, el poliestireno expandido se clasifica en función de su densidad, teniendo así que el TIPO I tiene una densidad de 10 kg/m<sup>3</sup>, el TIPO II tiene una densidad de 12 kg/m<sup>3</sup>, el TIPO III tiene una densidad de 15 kg/m<sup>3</sup>, el TIPO IV tiene una densidad de 20 kg/m<sup>3</sup>, el TIPO V tiene una densidad de 25 kg/m<sup>3</sup>, TIPO VI tiene una densidad de 30 kg/m<sup>3</sup>, TIPO VII tiene una densidad de 35 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.2.2 Solventes orgánicos en la industria de pinturas

El solvente orgánico es seleccionado entre cetonas con hasta 11 átomos de carbonos saturados, ésteres con hasta 11 átomos de carbonos saturados, bencenos sustituidos con hasta 12 átomos de carbonos saturados, alcanos de hasta 15 carbonos. Entre los solventes orgánicos que se utilizan se pueden mencionar propanona, 2-butanona, 2-pentanona, 3-pentanona, etanoato de metilo, etanoato de etilo, etanoato de propilo, etanoato de isopropilo, etanoato de butilo, pentano, 2-metilpentano, 3-metilpentano, hexano, 2-metilhexano, 3-metilhexano, benceno, tolueno, xileno, trimetilbenceno, etilbenceno, dietilbenceno, propilbenceno, dipropilbenceno, cloroformo, diclorometano, gasolinas, keroseno, tetracloruro de carbono entre otros, y/o sus mezclas. Más preferentemente el solvente orgánico puede ser elegido entre acetona, xileno, acetato de etilo, tolueno, y además sus mezclas (Mondal, Bose y Bansal 2019, p. 2).

#### 2.2.2.1 Composición del solvente thinner acrílico

**Tabla 2-1:** Composición del thinner acrílico

Componente	Porcentaje
Tolueno	5 – 50 %
Metanol	15 – 50 %
Cetonas	5 – 40 %
Hexano	5 – 30 %
Alcoholes	5 – 40 %
Xileno	5 – 20 %
Ésteres	3 – 50 %

Fuente: Ficha técnica Latina Industrial

El thinner acrílico es una mezcla de solventes orgánicos empleado en la industria de pintura para formulación de recubrimientos, y es un aditivo que tiene un precio económico y es de fácil acceso.

### **2.2.3 Selladores de pintura**

Los selladores son sustancias que se utilizan para proteger las superficies antes de la aplicación de la pintura. Su función es crear una barrera que impida que elementos externos como gases, aire, polvo entren a la superficie y la deterioren rápidamente. El sellador para paredes es un producto específico que se aplica sobre diferentes tipos de superficies interiores con el fin de lograr una absorción homogénea de la pintura y aumentar su rendimiento. Está diseñado para ser utilizado en paredes de hormigón, mampostería, yeso, cemento, ladrillo, fibrocemento, placas de cartón-yeso y otros materiales similares (Chew 2000, p. 2).

### **2.2.4 Pintura Acrílica**

La pintura acrílica se compone de una emulsión de polímero acrílico, un material plastificado que permite su secado rápido. Este componente, derivado del látex, aporta a la pintura resistencia y dureza una vez seca. A pesar de ser soluble en agua, una vez seca, la pintura acrílica se vuelve resistente al agua. Su secado rápido es una de sus principales características, y también cabe destacar que, al secar, modifica ligeramente el tono de la pintura (Zhang et al. 2018, p. 2).

### **2.2.5 Acero inoxidable 304**

El acero inoxidable 304 es una protección de acero austenítico de uso común que contiene cromo (aproximadamente 18-20%) y níquel (aproximadamente 8-10%). También puede contener pequeñas cantidades de otros elementos, como el carbono y el manganeso. Esta composición química le lleva al acero inoxidable 304 excelentes propiedades de resistencia a la corrosión y durabilidad (Pang et al. 2023, p. 2).

#### **2.2.5.1 Características del acero inoxidable 304:**

- **Resistencia a la corrosión:** Una de las características más destacadas del acero inoxidable 304 es su alta resistencia a la corrosión. El contenido de cromo forma una capa pasiva en la superficie del acero, lo que lo protege de la oxidación y la corrosión en ambientes agresivos, incluyendo la exposición al agua y productos químicos corrosivos (Eguchi 2023, p. 2-4).
- **Resistencia a altas temperaturas:** El acero inoxidable 304 muestra una buena resistencia a altas temperaturas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en las que se requiere una resistencia al calor, como intercambiadores de calor y componentes de motores (Eguchi 2023, p. 2-4).

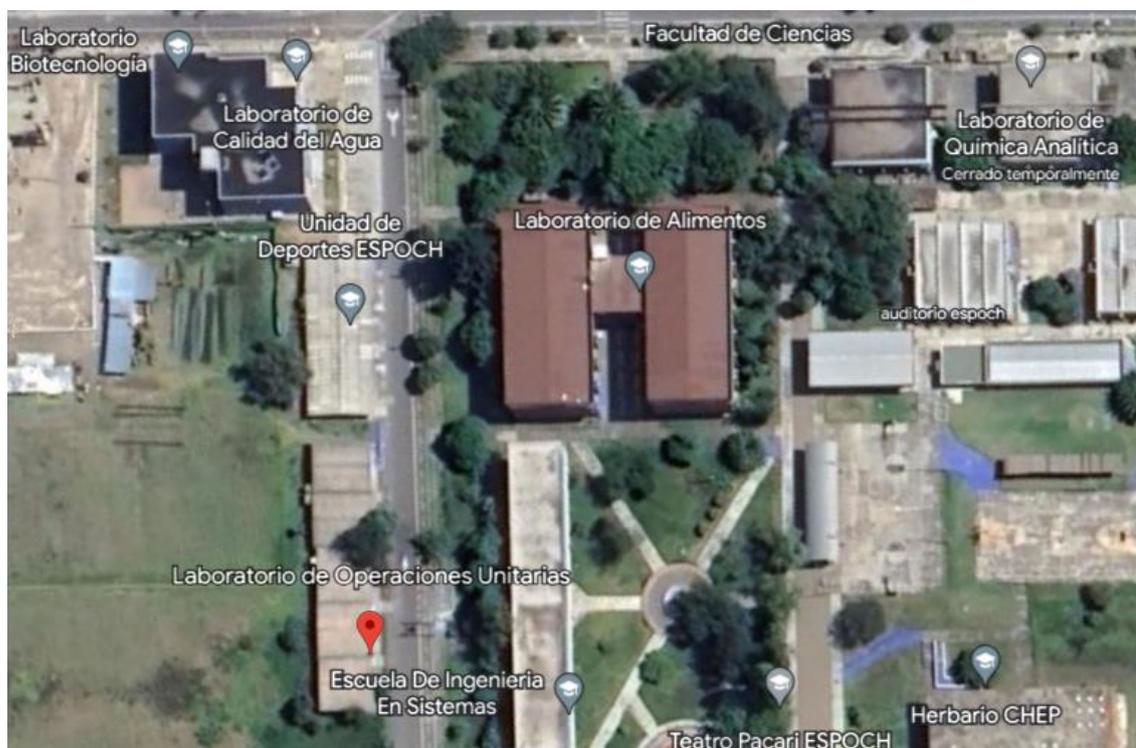
- Fácil fabricación y soldabilidad: El acero inoxidable 304 es fácil de fabricar y soldar, lo que permite su uso en una amplia gama de procesos de fabricación. Puede ser conformado en diferentes formas y tamaños mediante técnicas de corte, doblado y soldadura (Eguchi 2023, p. 2-4).
- Higiene y seguridad: El acero inoxidable 304 es higiénico y seguro para aplicaciones en las que se requiere una superficie no porosa y resistente a la corrosión. Es fácil de limpiar y mantener (Eguchi 2023, p. 2-4)

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR

#### 3.1 Localización del Proyecto

El proyecto se llevará a cabo en el cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo, en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



**Ilustración 3-1:** Croquis del laboratorio de Procesos Industriales

Fuente: Google Earth, 2023

**Tabla 3-1:** Coordenadas del área

COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Parroquia	Lizarzaburu
Coordenadas	1°39'21" S 78°40'45" W
Altitud	2818 m. s. n. m.

Fuente: Google Earth, 2023

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.2 Ingeniería del Proyecto

#### 3.2.1 Caracterización de la materia prima

La caracterización de las propiedades del poliestireno expandido se realiza con base a la norma según la Norma ASTM D6817:2018

**Tabla 3-2:** Características físicas y mecánicas del poliestireno

PROPIE-DADES	TIPOS EPS						
	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO V	TIPO VI	TIPO VII
Densidad [ kg/m <sup>3</sup> ]	10	12	15	20	25	30	35
Conductividad térmica (10°c) [Mw/(mK)]	46	43	39	36	35	34	33
Resistencia a la compresión [kPa]	-	-	15 – 25	25 – 40	35 – 50	45 – 60	55 – 70
Resistencia a la flexión [kPa]	50	60	100	150	200	275	375
Resistencia al cizallamiento [kPa]	25	35	50	75	100	135	184
Resistencia a la tracción [kPa]	-	<100	110 - 290	170 - 350	320 - 410	300 - 480	420 - 580
Absorción de agua por inmersión (7 días) [% (vol.)]	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5
Absorción de agua por inmersión (28 días) [% (vol.)]	1 – 3	1 – 3	1 – 3	1 – 3	1 – 3	1 – 3	1 – 3

Fuente: Norma ASTM D6817:2018

Realizado por: Pila J., 2023

**Tabla 3-3:** Características Químicas del poliestireno

Sustancia	Reactivo
Solución Salina	NO
Solución Tensoactiva	NO
Soluciones Alcalinas	NO
Ácidos Diluidos	NO
Metanol, Etanol	NO
Ácidos Concentrados	SI
Disolventes Orgánicos	SI
Hidrocarburos Alifáticos Saturados	SI
Aceite de Diesel	SI
Carburantes	SI

Fuente: Norma ASTM D6817 / D6817M-17:2018

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.2.2 Determinación de la densidad del poliestireno expandido

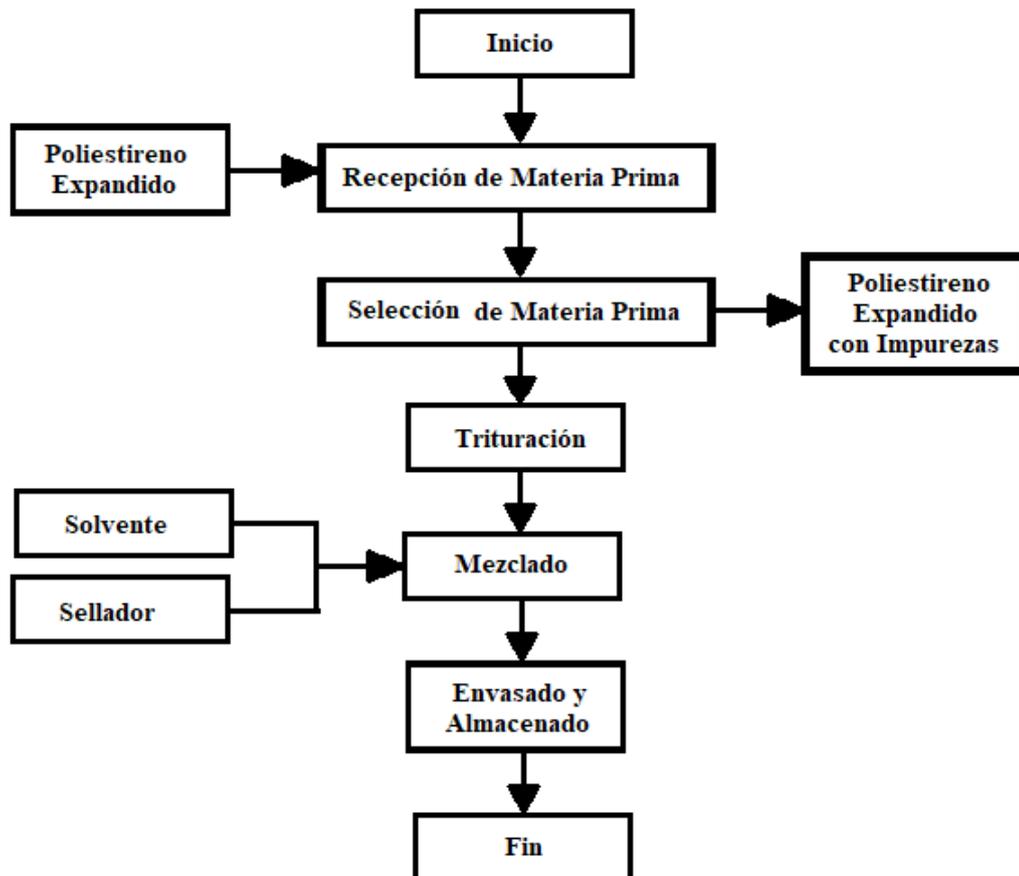
Con el objetivo de asegurar que la materia prima cumpla con los parámetros requeridos para su utilización en la elaboración de pintura acrílica, se procedió a determinar la densidad del poliestireno expandido mediante un método volumétrico.

**Tabla 3-4:** Cálculo de la densidad del poliestireno

Materiales y Equipos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estilete</li> <li>• Pie de rey</li> <li>• Balanza analítica</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Con el estilete cortar el poliestireno de manera que forme un cubo</li> <li>2. Con el pie de rey medir cada uno de los lados del cubo formado</li> <li>3. Calcular el volumen del cubo obtenido</li> <li>4. Pesar el cubo obtenido</li> <li>5. Reemplazar los datos en la fórmula de densidad y calcular.</li> </ol>

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.3 Diagrama de bloques para la elaboración de la pintura acrílica.



**Ilustración 3-2:** Diagrama de bloques del proceso

Realizado por: Pila J., 2023

#### 3.3.1 Descripción del proceso

Para obtener los datos del dimensionamiento para el diseño del proceso, se realizará la pintura acrílica a pequeña escala, empezando por un proceso de selección de la materia prima verificando que el poliestireno expandido proveniente de residuos plásticos esté libre de contaminantes o partículas extrañas que alteren la calidad, el rendimiento, la consistencia o la rentabilidad del proceso de producción. Luego se realiza un proceso de trituración manual del poliestireno expandido, con la finalidad de obtener un tamaño de partícula no mayor a 1 cm asegurando una mayor área de contacto con los demás aditivos, para generar la mezcla con el sellador y el solvente, a una velocidad de 300 RPM durante 5 minutos. Para finalizar el envasado del producto final obtenido, se lo realiza en un recipiente herméticamente sellado, y su almacenamiento en un lugar fresco y seguro.

### 3.4 Formulación del impermeabilizante para exteriores

De acuerdo al estudio publicado por López Pedrajas y otros, 2022, se establece el uso de una solución saturada de poliestireno expandido en el solvente utilizado, con base a esto se obtuvo una concentración del 29 % m/m poliestireno/thinner acrílico, y a esta solución se la combinó en diferentes porcentajes con los aditivos necesarios, en este caso el sellador. Se utilizó una base de cálculo de 500 g y se propusieron 4 formulaciones variando el porcentaje del sellador de 25%, 50%, 75% y 60%

### 3.5 Caracterización del producto obtenido

Al impermeabilizante para exteriores obtenido a partir del poliestireno expandido, se lo analizó con base a la norma NTC 1335:2015 para validar el proceso.

**Tabla 3-5:** Tabla de la caracterización

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación</b>
Material No Volátil	52 – 62 %
Densidad	1.2 – 1.4 g/ml
pH	8 – 9.5
Secado al tacto	1 hora
Viscosidad	12000 – 22000 CPs
Resistencia al lavado	Cumplir
Resistencia al entizamiento	Cumplir
Resistencia al almacenamiento	Cumplir

Fuente: NTC 1335:2015

Realizado por: Pila J., 2023

Para que el producto a obtener cumpla con los parámetros adecuados se realizan las siguientes pruebas:

#### 3.5.1 Prueba de material no volátil

El porcentaje de material no volátil afecta la durabilidad, el color y la calidad de la capa final, después de que la pintura se seca.

**Tabla 3-6:** Prueba de material no volátil

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Papel aluminio</li><li>• Secador de bandejas</li><li>• Balanza analítica</li></ul>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Recortar cuadros de papel aluminio de 10 x 10 cm</li><li>2. Pesar el papel aluminio</li><li>3. Colocar una muestra de la pintura en el papel</li><li>4. Dispersar la muestra sobre el papel</li><li>5. Pesar la muestra en el papel</li><li>6. Colocar las muestras en el secador de bandejas a 150°C durante una hora</li><li>7. Retirar las muestras del secador y colocarlas en el desecador</li><li>8. Pesar las muestras secas</li><li>9. Realizar los cálculos</li></ol>

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.5.2 Prueba de densidad

La prueba de densidad en pinturas ayuda a verificar la consistencia del producto, su capacidad de cobertura y su rendimiento en la aplicación.

**Tabla 3-7:** Prueba de densidad

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Picnómetro</li><li>• Balanza analítica</li></ul>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Pesar el picnómetro</li><li>2. Colocar la muestra en el picnómetro</li><li>3. Pesar el picnómetro con la muestra</li><li>4. Realizar con cálculos</li></ol>

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.5.3 Prueba de pH

El pH en pinturas influye en su adhesión, estabilidad y reacciones químicas durante la aplicación y el secado, impactando directamente en la calidad, durabilidad y compatibilidad con superficies y capas subsecuentes.

**Tabla 3-8: Prueba de pH**

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pHmetro</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar el electrodo del pHmetro en la muestra</li> <li>2. Esperar la lectura del equipo</li> </ol>

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.5.4 Prueba de viscosidad

La prueba de viscosidad en pinturas determina su fluidez y consistencia, lo que influye en la facilidad de aplicación, cobertura uniforme y la prevención de problemas como goteo o dificultades en la pulverización, asegurando un acabado de alta calidad y eficiencia en la aplicación.

**Tabla 3-9: Prueba de viscosidad**

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscosímetro rotatorio</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calibrar el viscosímetro a las condiciones de trabajo necesarias (rpm, usillos)</li> <li>2. Colocar el usillo del viscosímetro dentro de la muestra</li> <li>3. Esperar la lectura del equipo</li> </ol>

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.5.5 Resistencia al lavado

La resistencia al lavado en pinturas evalúa cómo soporta la limpieza y el lavado repetido sin perder el color, adherencia o integridad, garantizando que las superficies pintadas pueden mantener su apariencia y durabilidad a lo largo del tiempo, especialmente en áreas expuestas a la limpieza frecuente.

**Tabla 3-10: Resistencia al lavado**

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cepillo</li> <li>• Detergente</li> <li>• Agua</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplicar una capa uniforme de pintura en una muestra y déjala secar completamente.</li> <li>2. Sumergir un cepillo suave en agua con detergente.</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Cepillar suavemente la superficie pintada en movimientos circulares o lineales durante un tiempo determinado y con una presión constante.</li> <li>4. Enjuagar la superficie con agua limpia.</li> <li>5. Evalúa visualmente la cantidad de pintura que se desprende. Cuanto mayor sea la cantidad de pintura que se desprende, menor será la resistencia al lavado de la pintura.</li> </ol>
--	---

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.5.6 Resistencia al entizamiento

La resistencia al entizamiento en pinturas verifica si el recubrimiento resiste la formación de arrugas o pliegues, lo que asegura que la pintura mantenga su integridad en superficies sujetas a movimientos o cambios, impidiendo la aparición prematura de grietas y garantizando una vida útil prolongada de la pintura.

**Tabla 3-11:** Resistencia al entizamiento

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Procedimiento</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cinta de enmascarar</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplicar una capa uniforme de pintura en una muestra y déjala secar completamente.</li> <li>2. Cortar una sección de cinta adhesiva (como cinta de enmascarar) y presiónala firmemente sobre la superficie pintada.</li> <li>3. Retirar rápidamente la cinta adhesiva, aplicando una fuerza perpendicular a la superficie pintada.</li> <li>4. Evaluar visualmente el área de pintura que se desprende en la cinta adhesiva. Cuanto menor sea el área de pintura que se desprende, mayor será la resistencia al entizamiento de la pintura.</li> </ol>

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.5.7 Resistencia al almacenamiento

La resistencia al almacenamiento determina cómo el producto mantiene sus propiedades físicas, químicas y de rendimiento durante su tiempo de almacenamiento, asegurando que la pintura

conservar su calidad, estabilidad y características deseadas, lo que resulta en un producto confiable y efectivo al momento de su uso.

**Tabla 3-12:** Resistencia al almacenamiento

Materiales y Equipos	Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envases para almacenamiento.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilizar recipientes pequeños o frascos que contengan la pintura y asegurarse de que estén bien cerrados.</li> <li>2. Selección de los parámetros de evaluación: estabilidad del color, la separación de los componentes, la formación de grumos o sedimentos, y cualquier cambio en la viscosidad o consistencia de la pintura.</li> <li>3. Coloca las muestras en un entorno de almacenamiento adecuado.</li> <li>4. Elegir un intervalo de tiempo específico, como una semana, un mes o varios meses, dependiendo de sus necesidades de evaluación.</li> <li>5. Examinar visualmente la muestra de pintura después de que haya transcurrido el período de almacenamiento.</li> </ol>

Realizado por: Pila J., 2023

### 3.6 Cálculos para el diseño del proceso de operación

Se realizaron cálculos mediante balances de masa de los equipos utilizados para el diseño del proceso para la obtención de pintura acrílica a partir de poliestireno expandido, y así evaluar los costos de operación.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Determinación del tipo de poliestireno expandido

Volumen del poliestireno

$$V = 5.3 \text{ cm} * 4 \text{ cm} * 13 \text{ cm} = 275.6 \text{ cm}^3$$

Masa del poliestireno

$$m = 6.89 \text{ g}$$

Densidad del poliestireno expandido

$$\rho = \frac{6.89 \text{ g}}{275.6 \text{ cm}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$\rho = 25 \text{ kg/m}^3$$

Con base a la tabla 3-2, y con los resultados de densidad obtenidos en el punto 4.1, se establece que el poliestireno expandido a ser utilizado es el tipo V

#### 4.2 Resultados de la caracterización de la materia prima

**Tabla 4-1:** Caracterización de la materia prima

Propiedades	Unidad	Valor
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	25
Conductividad térmica (10°C)	Mw/(mK)	35
Resistencia a la compresión	KPa	35 – 50
Resistencia a la flexión	KPa	200
Resistencia al cizallamiento	KPa	100
Resistencia a la tracción	KPa	320 – 410

Absorción de agua por inmersión (7 días)	% (vol.)	0.5 - 1.5
Absorción de agua por inmersión (28 días)	% (vol.)	1 – 3

Realizado por: Pila, J., 2023

Después de haber calculado la densidad del material utilizado, por el método volumétrico, se obtuvieron los valores de las propiedades físicas y mecánicas del mismo, y en base a la norma ASTM D6817:2018 comprobamos que el poliestireno expandido es del tipo V

### 4.3 Formulación del impermeabilizante para exteriores

Tabla 4-2: Tabla de formulaciones

Formulación	Reactivos	Cantidad (g)	Cantidad (%)
1	EPS	35.625	7.125
	Solvente	89.375	17.875
	Sellador	375	75
	<b>Total 100%</b>	<b>500</b>	<b>100</b>
2	EPS	71.25	14.25
	Solvente	178.75	35.75
	Sellador	250	50
	<b>Total 100%</b>	<b>500</b>	<b>100</b>
3	EPS	106.875	21.375
	Solvente	268.125	53.625
	Sellador	125	25
	<b>Total 100%</b>	<b>500</b>	<b>100</b>
4	EPS	57	11.4
	Solvente	143	28.6
	Sellador	300	60
	<b>Total 100%</b>	<b>500</b>	<b>100</b>

Realizado por: Pila J., 2023

Para este proyecto se propusieron 4 formulaciones variando la composición de sus aditivos para saber cuál de ellas es la más óptima que cumpla con lo establecido con la norma NTC 1335:2018, y que su implementación a escala industrial sea factible.

#### 4.4 Resultados de la caracterización del producto final

##### 4.4.1 Prueba de material no volátil

Se tomaron 3 muestras al azar de cada una de las formulaciones y se realizó la prueba

**Tabla 4-3:** Peso de muestras en la prueba de material no volátil

Muestra	Peso Papel (g)	Peso Papel y Muestra (g)	Peso Muestra (g)	Peso Papel y Muestra Secada (g)	Peso Muestra Secada (g)
F1.1	0.365	0.976	0.611	0.643	0.278
F1.2	0.385	0.769	0.384	0.555	0.170
F1.3	0.484	1.059	0.575	0.721	0.237
F2.1	0.393	0.819	0.426	0.597	0.204
F2.2	0.409	0.751	0.342	0.561	0.152
F2.3	0.443	1.019	0.576	0.694	0.251
F3.1	0.295	0.511	0.216	0.392	0.097
F3.2	0.290	0.511	0.221	0.387	0.097
F3.3	0.271	0.574	0.303	0.401	0.130
F4.1	0.260	0.673	0.413	0.453	0.193
F4.2	0.298	0.761	0.463	0.509	0.211
F4.3	0.274	0.917	0.643	0.542	0.268

Realizado por: Pila J., 2023

$$\% \text{ No Volátiles} = \frac{\text{Peso Muestra} - \text{Peso Muestra Secada}}{\text{Peso Muestra}} * 100\%$$

Muestra F1.1

$$\% \text{ No Volátiles} = \frac{0.611 - 0.278}{0.611} * 100\% = 54.560 \%$$

**Tabla 4-4:** Porcentaje de no volátiles

Muestra	Porcentaje de no volátiles
F1.1	54.560 %
F1.2	55.729 %

F1.3	58.783 %
F2.1	52.113 %
F2.2	55.556 %
F2.3	56.424 %
F3.1	55.093 %
F3.2	56.109 %
F3.3	57.096 %
F4.1	53.269 %
F4.2	54.428 %
F4.3	58.320 %

Realizado por: Pila J., 2023

#### 4.4.2 Prueba de densidad

Se tomó una muestra de 10 ml por cada una de la formulación

**Tabla 4-5:** Peso de muestras para prueba de densidad

Formulación	Peso Picnómetro (g)	Peso Picnómetro y Muestra (g)	Peso Muestra (g)	Volumen Muestra (mL)
F1	16.014	27.411	11.397	10
F2	16.014	28.066	12.052	10
F3	16.014	29.393	13.379	10
F4	16.014	28.503	12.489	10

Realizado por: Pila J., 2023

$$Densidad = \frac{Peso\ Muestra}{Volumen\ Muestra}$$

Formulación 1

$$Densidad = \frac{11.397\ g}{10\ mL} = 1.1397\ g/mL$$

Formulación 2

$$Densidad = \frac{12.052}{10 \text{ mL}} = 1.2052 \text{ g/mL}$$

Formulación 3

$$Densidad = \frac{13.379}{10 \text{ mL}} = 1.3379 \text{ g/mL}$$

Formulación 4

$$Densidad = \frac{12.489}{10 \text{ mL}} = 1.2489 \text{ g/mL}$$

#### 4.4.3 Prueba de pH

Se realizó una lectura con el pHmetro a cada formulación

**Tabla 4-6:** Valores de pH

Tratamiento	pH
F1	9.3
F2	8.8
F3	8.5
F4	8.1

Realizado por: Pila J., 2023

#### 4.4.4 Prueba de viscosidad

Se realizó una lectura a cada formulación con el viscosímetro rotativo.

**Tabla 4-7:** Valores de viscosidad

Formulación	Viscosidad (CPs)
F1	14861
F2	19315
F3	21887
F4	18542

Realizado por: Pila J., 2023

#### 4.4.5 Selección de la formulación

**Tabla 4-8:** Caracterización del producto final

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación (NTC 1335:2015)</b>	<b>Producto final</b>
Material No Volátil	52 – 62 %	55.339 %
Densidad	1.2 – 1.4 g/mL	1.2489 g/mL
pH	8 – 9.5	8.1
Secado al tacto	1 hora	Cumple
Viscosidad	12000 – 22000 CPs	18542 CPs
Resistencia al lavado	Cumplir	Cumple
Resistencia al entizamiento	Cumplir	Cumple
Resistencia al almacenamiento	Cumplir	Cumple

Realizado por: Pila, J., 2023

Con base a todas las pruebas realizadas y a la comparativa con la norma NTC 1335:2015 se comprobó que todas las formulaciones cumplen con lo requerido, pero se descartó la formulación número 1 porque la cantidad de sellador es mayor a todas las formulaciones y esto implica que el valor del producto final sea más costoso; se descartó la formulación número 3 debido a que las propiedades reológicas del producto no eran las adecuadas para una buena manipulación y aplicación del producto; la formulación número 2 no presentó ningún inconveniente, pero se buscó disminuir la cantidad de sellador, por lo cual se seleccionó la formulación número 4.

#### 4.5 Resultados del diseño de producción

##### 4.5.1 Balance de masa en el proceso de mezclado

Tomando de base cálculo una producción de 25 L de pintura, tenemos

$$\rho = \frac{m}{V}$$

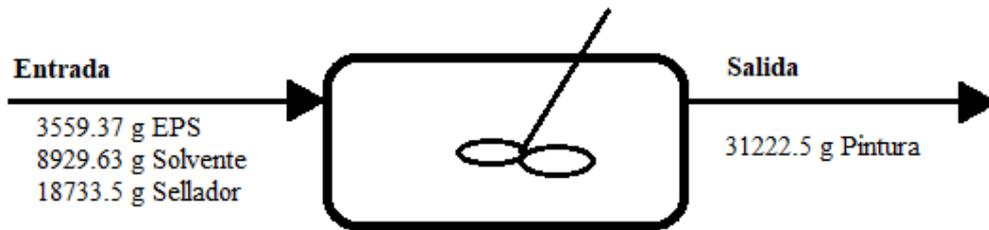
$$m \text{ Pintura} = 1.2489 \frac{g}{mL} * 25000mL$$

$$m \text{ Pintura} = 31222.5 \text{ g}$$

$$m \text{ EPS} = 31222.5 \text{ g Pintura} * \frac{57 \text{ g EPS}}{500 \text{ g Pintura}} = 3559.37 \text{ g}$$

$$m \text{ Solvente} = 31222.5 \text{ g Pintura} * \frac{143 \text{ g Solvente}}{500 \text{ g Pintura}} = 8929.63 \text{ g}$$

$$m \text{ Sellador} = 31222.5 \text{ g Pintura} * \frac{300 \text{ g Sellador}}{500 \text{ g Pintura}} = 18733.5 \text{ g}$$



**Ilustración 4-1:** Balance de masa del proceso de mezclado

Realizado por: Pila J., 2023

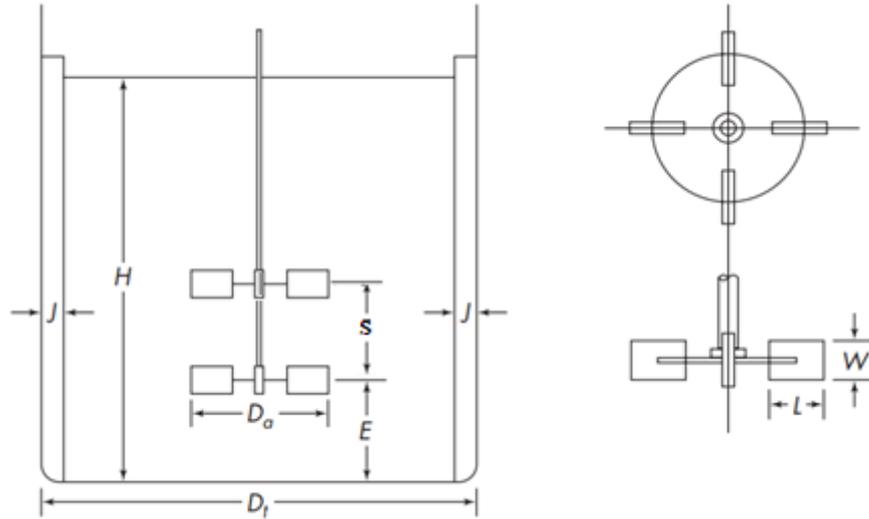
#### 4.5.2 Diseño de los reactores

Según McCabe, debemos considerar las siguientes relaciones para el dimensionamiento de un tanque de agitación.

**Tabla 4-9:** Relaciones para el dimensionamiento

$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$	$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$	$\frac{H}{D_t} = 1$	$S = \frac{H - E}{\# \text{ niveles}}$
$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	$\frac{j}{D_t} = \frac{1}{12}$	$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$	

Fuente: (McCabe et al., 2007: p.261).



**Ilustración 4-2:** Diseño básico de un tanque de agitación

Fuente: (McCabe et al., 2007: p.263).

#### 4.5.2.1 Dimensionamiento del tanque de mezclado para pintura

El volumen propuesto para este trabajo es de 25L

Volumen del tanque de mezclado

$$V = V_p + V_p(FS)$$

Donde:

V<sub>p</sub>: Volumen propuesto

FS: Factor de seguridad del tanque

$$V = 25 L + 25 L * 0.2$$

$$V = 30 L$$

$$\text{Volumen} = 30 L * \frac{1 m^3}{1000L} = 0.030 m^3$$

Como la forma del tanque es cilíndrica, trabajamos con la fórmula del volumen de un cilindro

$$V = \pi r^2 H$$

Donde,

r: radio del tanque

H: altura del líquido en el tanque

$$r = \frac{D_t}{2}$$

Reemplazando tenemos

$$V = \pi \left( \frac{D_t}{2} \right)^2 H$$

Según McCabe tenemos

$$H = D_t$$

Reemplazando nuevamente tenemos

$$V = \pi \left( \frac{D_t}{2} \right)^2 D_t$$
$$V = \pi \frac{D_t^3}{4}$$

Reemplazando valores tenemos

$$0.030 \text{ m}^3 = \pi * \frac{D_t^3}{4}$$
$$D_t^3 = \frac{4 * 0.030 \text{ m}^3}{\pi}$$
$$D_t = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.030 \text{ m}^3}{\pi}}$$
$$D_t = 0.337 \text{ m}$$

Calculamos las demás dimensiones del agitador

$$H = D_t = 0.337 \text{ m}$$
$$E = \frac{D_t}{3} = \frac{0.337 \text{ m}}{3} = 0.112 \text{ m}$$
$$D_a = \frac{D_t}{3} = \frac{0.337 \text{ m}}{3} = 0.112 \text{ m}$$
$$L = \frac{D_a}{4} = \frac{0.112}{4} = 0.028 \text{ m}$$

$$W = \frac{D_a}{5} = \frac{0.112}{5} = 0.022 \text{ m}$$

- Selección del tipo de rodete

El sistema de agitación es utilizado para forzar de forma mecánica el movimiento constante de un fluido en el interior del tanque formando así una mezcla homogénea

**Tabla 4-10:** Selección del tipo de agitador

<b>Guía de selección de impulsores</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Viscosidad, Kg/m.s</b>
Ancla	0.1 – 2
Hélice	0.001 – 10
turbina de pala plana	0.001 – 30
Paleta	0.1 – 30
Puerta	1 – 100
tornillo helicoidal	3 – 300
Cinta helicoidal	10 – 2000
Extrusoras	>1000

**Fuente:** (Holland & Chapman., 1996: p.5).

Para seleccionar el tipo de rodete, se toma en cuenta la viscosidad del producto obtenida en el laboratorio, la cual fue de 18.54 Kg/ms, determinando que es adecuado utilizar las paletas como tipo de rodete.

Se usan de 2 a 4 paletas. La agitación mediante paletas es ideal para tanques medianos y pequeños. En este caso, se utilizarán 4 paletas, en 2 niveles de altura del brazo del agitador, debido a la viscosidad del fluido.

Separación de paletas

$$S = \frac{H - E}{\# \text{ niveles}}$$

$$S = \frac{0.337 - 0.112}{2}$$

$$S = 0.1125 \text{ m}$$

- Cálculo de la potencia del agitador

**Tabla 4-11:** Datos adicionales

Parámetro	Valor
Densidad de la pintura	1248.9 Kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad de la pintura	18.542 kg/m.s
Velocidad de rotación	300 rpm = 5rps

Realizado por: Pila J., 2023

Numero de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{N * \rho * D_a^2}{\mu}$$

Donde:

$N_{Re}$ : Número de Reynolds

$D_a$ = Diámetro del rodete

$N$ =Velocidad de rotación

$\rho$ = Densidad del fluido

$\mu$ = Viscosidad del fluido

$$N_{Re} = \frac{5 * 1248.9 * 0.112^2}{18.542}$$

$$N_{Re} = 4.22$$

Potencia del agitador

$$P = N_{Po} * \rho * N^3 * D_a^5$$

Donde:

$P$  = Potencia del agitador

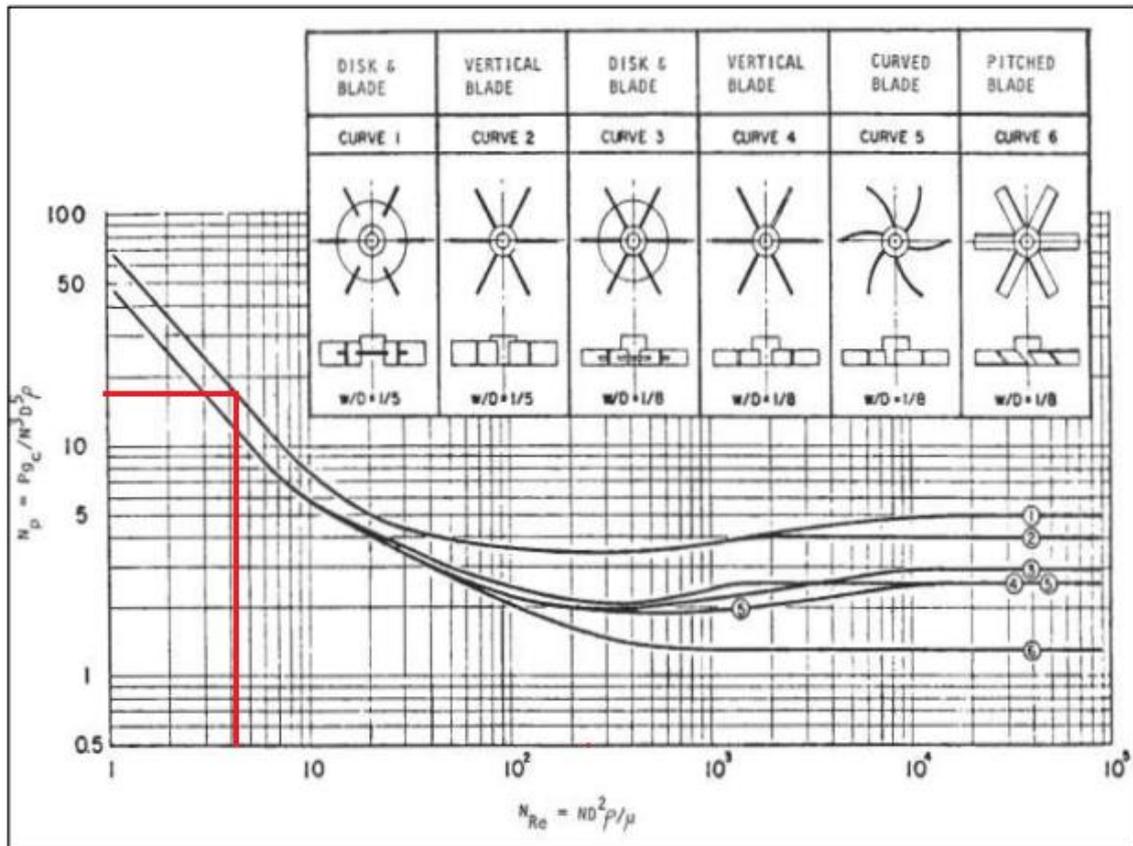
$N_{Po}$  = Numero de potencia obtenida

$\rho$  = Densidad del fluido

$N$  = Velocidad de rotación

$D_a$  = Diámetro del rodete

El número de potencia se obtiene mediante el siguiente gráfico de correlación entre el tipo de agitador y el número de Reynolds.



**Ilustración 4-3:** Correlación entre el número de Reynolds y número de potencia

Fuente: (Couper et al., 2005: p.292).

$$P = 18 * 1248.9 * 5^3 * 0.112^5$$

$$P = 49.52 \text{ W}$$

$$P = 49.52 \text{ W} * \frac{1 \text{ Hp}}{745.7 \text{ W}}$$

$$P = 0.06 \text{ Hp}$$

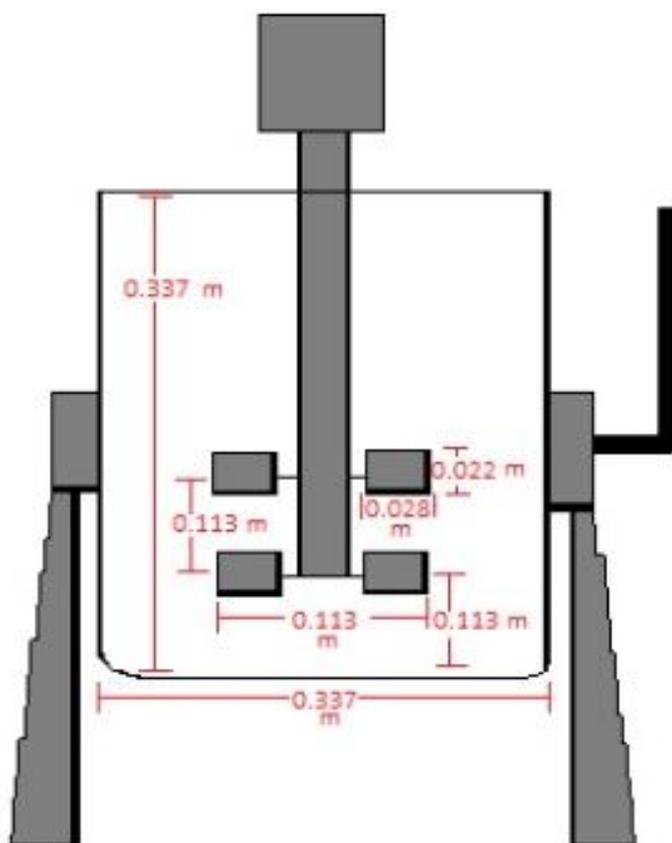
#### 4.5.2.2 Resultados del dimensionamiento del tanque de agitación

**Tabla 4-12:** Dimensionamiento del tanque de agitación

Parámetro	Valor
H	0.337 m
Dt	0.337 m
E	0.112 m

Da	0.112 m
L	0.028 m
W	0.022 m
S	0.1125 m

Realizado por: Pila, J., 2023



**Ilustración 4-4:** Diseño del tanque de mezclado

Realizado por: Pila J., 2023

Potencia del motor del agitador

**Tabla 4-13:** Potencia del agitador

Potencia del agitador		
Parámetro	Medida	Unidad
Número de Reynolds	4.22	-
Potencia del agitador	0.06	Hp

Realizado por: Pila, J., 2023

#### 4.5.2.3 Dimensionamiento del triturador de poliestireno expandido

Calculamos el volumen de poliestireno a utilizar.

Tenemos

$$\rho_{EPS} = 25 \frac{Kg}{m^3}$$

$$25 L \text{ pintura} * \frac{1.2489 kg \text{ pintura}}{1 L \text{ pintura}} * \frac{57 kg \text{ EPS}}{500 kg \text{ pintura}} * \frac{1 m^3 \text{ EPS}}{25 kg \text{ EPS}} = 0.142 m^3 \text{ EPS}$$

Volumen del tanque de mezclado

$$V = V_p + V_p(FS)$$

Donde:

V<sub>p</sub>: Volumen propuesto

FS: Factor de seguridad del tanque del 20%

$$V = 0.142 m^3 + 0.142 m^3 * 0.2$$

$$V = 0.170 m^3$$

Como la forma del tanque es cilíndrica, trabajamos con la fórmula del volumen de un cilindro

$$V = \pi r^2 H$$

Donde,

r: radio del tanque

H: altura del líquido en el tanque

$$r = \frac{D_t}{2}$$

Reemplazando tenemos

$$V = \pi \left( \frac{D_t}{2} \right)^2 H$$

Según McCabe tenemos

$$H = D_t$$

Reemplazando nuevamente tenemos

$$V = \pi \left( \frac{D_t}{2} \right)^2 D_t$$
$$V = \pi \frac{D_t^3}{4}$$

Reemplazando valores tenemos

$$0.170 \text{ m}^3 = \pi * \frac{D_t^3}{4}$$
$$D_t^3 = \frac{4 * 0.170 \text{ m}^3}{\pi}$$
$$D_t = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.170 \text{ m}^3}{\pi}}$$
$$D_t = 0.6 \text{ m}$$

Calculamos las demás dimensiones del agitador

$$H = D_t = 0.6 \text{ m}$$
$$E = \frac{D_t}{3} = \frac{0.6 \text{ m}}{3} = 0.2 \text{ m}$$
$$D_a = \frac{D_t}{3} = \frac{0.6 \text{ m}}{3} = 0.2 \text{ m}$$
$$L = \frac{D_a}{4} = \frac{0.2}{4} = 0.05 \text{ m}$$
$$W = \frac{D_a}{5} = \frac{0.2}{5} = 0.04 \text{ m}$$

- Selección del tipo de rodete

Para seleccionar el tipo de rodete, se toma en cuenta que el proceso es la trituración de un sólido de baja densidad, determinando que es adecuado utilizar las cuchillas como tipo de rodete.

- Potencia del triturador

Según Zaragoza-Benzal y otros (2023, p. 3) el torque necesario para cortar poliestireno expandido es 3.75Nm,

$$P = \frac{2\pi * T * N}{60}$$

Donde:

T: Torque

N: rpm

$$P = \frac{2 * \pi * 3.75 * 180}{60} = 70.69 W$$

$$P = 70.69 W * \frac{1 Hp}{745.7 W}$$

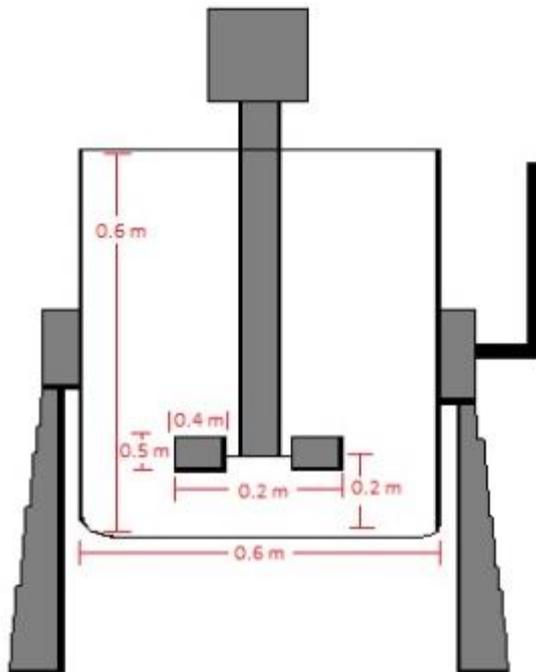
$$P = 0.09 Hp$$

#### 4.5.2.4 Resultados del dimensionamiento del triturador de poliestireno

**Tabla 4-14:** Dimensionamiento del tanque de trituración

Parámetro	Valor
H	0.6 m
Dt	0.6 m
E	0.2 m
Da	0.2 m
L	0.05 m
W	0.04 m

Realizado por: Pila, J., 2023



**Ilustración4-5:** Diseño del Triturador de poliestireno

Realizado por: Pila, J., 2023

Potencia del motor del triturador

**Tabla 4-15:** Potencia del triturador

Potencia del triturador		
Parámetro	Medida	Unidad
Potencia del agitador	0.09	Hp

Realizado por: Pila, J., 2023

#### 4.5.2.5 Dimensionamiento del tanque dosificador de sellador

Calculamos el volumen de sellador a utilizar

$$25 \text{ L pintura} * \frac{1.2489 \text{ kg pintura}}{1 \text{ L pintura}} * \frac{300 \text{ kg Sellador}}{500 \text{ kg pintura}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ Sellador}}{1200 \text{ kg Sellador}} =$$

$$\text{Volumen del sellador} = 0.016 \text{ m}^3$$

Volumen del tanque cónico para el sellador

$$V = V_p + V_p(FS)$$

Donde:

$V_p$ : Volumen propuesto

FS: Factor de seguridad del tanque

$$V = 0.016 \text{ m}^3 + 0.016 \text{ m}^3 * 0.1$$

$$V = 0.018 \text{ m}^3$$

Como la forma del tanque es cilíndrica con una base cónica, trabajamos con la siguiente formula

$$V = \pi r^2 H + \frac{1}{3} h \pi r^2$$

$$h = \text{tg}(\alpha) * \frac{H}{2}$$

Se recomienda utilizar un ángulo de inclinación de la base cónica de  $45^\circ$

$$h = \text{tg}(45) * \frac{H}{2}$$

Donde,

r: radio del tanque

H: altura del líquido en el tanque

$$r = \frac{H}{2}$$

Reemplazando tenemos

$$V = \pi \left(\frac{H}{2}\right)^2 H + \frac{1}{3} \text{tg}(45) * \frac{H}{2} \pi \left(\frac{H}{2}\right)^2$$

$$V = \pi \frac{H^3}{4} + \frac{\pi}{24} \text{tg}(45) * H^3$$

$$V = \pi \frac{H^3}{4} + \pi \frac{H^3}{24}$$

$$V = \pi \frac{7}{24} H^3$$

Reemplazando valores tenemos

$$0.018 \text{ m}^3 = \pi \frac{7}{24} H^3$$

$$H^3 = \frac{24 * 0.018 \text{ m}^3}{\pi * 7}$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{24 * 0.018 \text{ m}^3}{\pi * 7}}$$

$$H = 0.27 \text{ m}$$

Calculamos las demás dimensiones del tanque

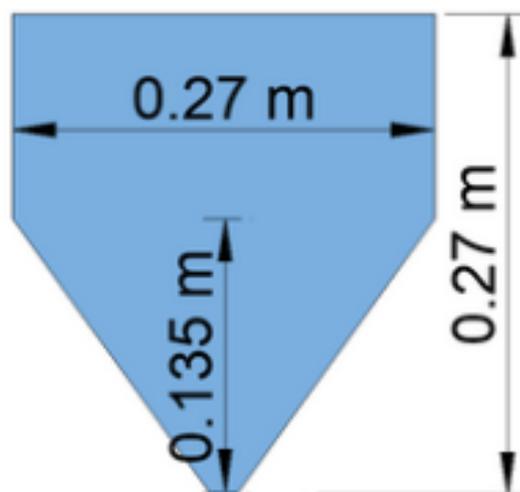
$$H = D_t = 0.27 \text{ m}$$

#### 4.5.2.6 Resultados del dimensionamiento del tanque dosificador de sellador

**1Tabla 4-16:** Dimensionamiento del tanque dosificador de sellador

Parámetro	Valor
H	0.27 m
D <sub>t</sub>	0.27 m
h	0.135 m

Realizado por: Pila, J., 2023



**Ilustración 4-6:** Diseño del tanque dosificador de sellador

Realizado por: Pila, J., 2023

#### 4.5.2.7 Dimensionamiento del tanque dosificador de thinner

Calculamos el volumen de thinner a utilizar

$$25 \text{ L pintura} * \frac{1.2489 \text{ kg pintura}}{1 \text{ L pintura}} * \frac{143 \text{ kg thinner}}{500 \text{ kg pintura}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ thinner}}{800 \text{ kg thinner}} =$$

$$\text{Volumen del thinner} = 0.011 \text{ m}^3$$

Volumen del tanque de mezclado

$$V = V_p + V_p(FS)$$

Donde:

V<sub>p</sub>: Volumen propuesto

FS: Factor de seguridad del tanque

$$V = 0.011 \text{ m}^3 + 0.011 \text{ m}^3 * 0.1$$

$$V = 0.012 \text{ m}^3$$

Como la forma del tanque es cilíndrica con una base cónica, trabajamos con la siguiente formula

$$V = \pi r^2 H + \frac{1}{3} h \pi r^2$$

$$h = \text{tg}(\alpha) * \frac{H}{2}$$

Se recomienda utilizar un ángulo de inclinación de la base cónica de 45°

$$h = \text{tg}(45) * \frac{H}{2}$$

Donde,

r: radio del tanque

H: altura del líquido en el tanque

$$r = \frac{H}{2}$$

Reemplazando tenemos

$$\begin{aligned}V &= \pi \left(\frac{H}{2}\right)^2 H + \frac{1}{3} \operatorname{tg}(45) * \frac{H}{2} \pi \left(\frac{H}{2}\right)^2 \\V &= \pi \frac{H^3}{4} + \frac{\pi}{24} \operatorname{tg}(45) * H^3 \\V &= \pi \frac{H^3}{4} + \pi \frac{H^3}{24} \\V &= \pi \frac{7}{24} H^3\end{aligned}$$

Reemplazando valores tenemos

$$\begin{aligned}0.012 \text{ m}^3 &= \pi \frac{7}{24} H^3 \\H^3 &= \frac{24 * 0.012 \text{ m}^3}{\pi * 7} \\H &= \sqrt[3]{\frac{24 * 0.012 \text{ m}^3}{\pi * 7}} \\H &= 0.236 \text{ m}\end{aligned}$$

Calculamos el resto de las dimensiones del agitador

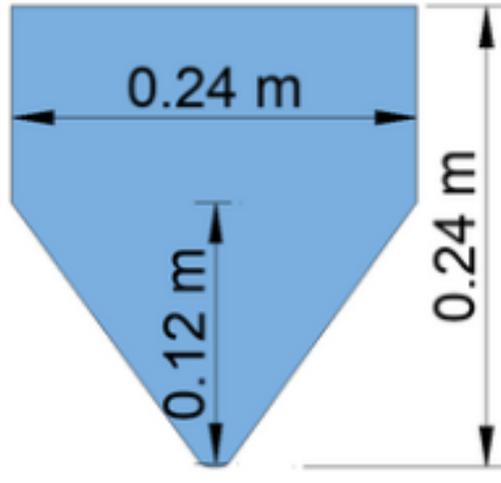
$$H = D_t = 0.236 \text{ m}$$

#### 4.5.2.8 Resultados del dimensionamiento del tanque dosificador de thinner

**Tabla 4-17:** Dimensionamiento del tanque dosificador de thinner

Parámetro	Valor
H	0.236 m
Dt	0.236 m
h	0.118 m

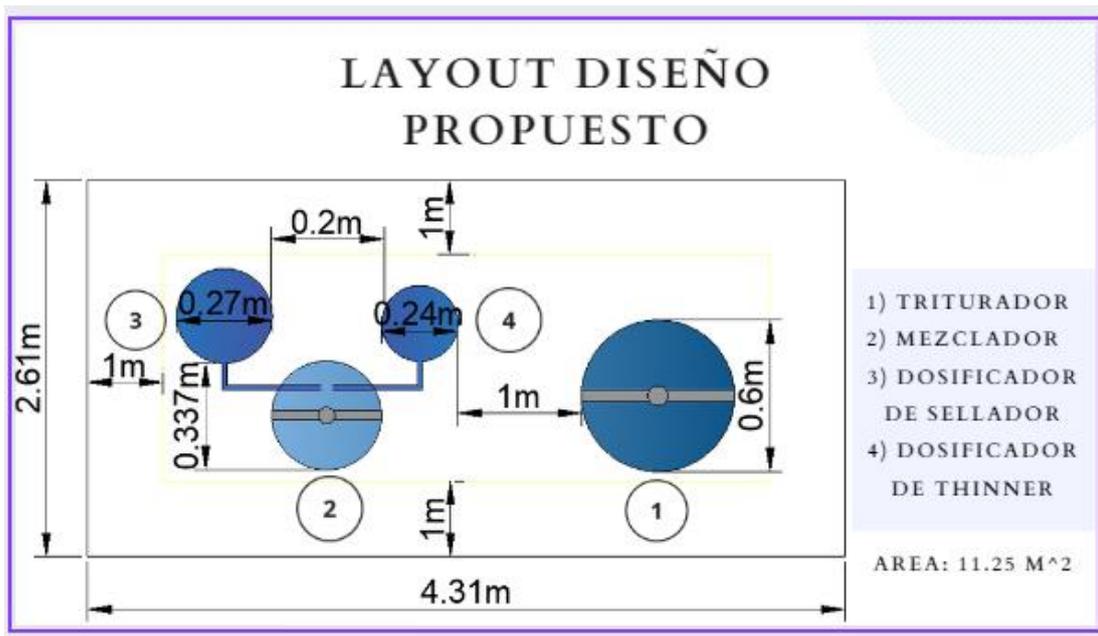
Realizado por: Pila, J., 2023



**Ilustración 4-7:** Diseño del tanque dosificador de thinner

Realizado por: Pila, J., 2023

Con estas medidas podemos determinar el área aproximada necesaria para la instalación de los equipos.



**Ilustración 4-8:** Vista superior de la línea de producción

Realizado por: Pila, J., 2023

Con el dimensionamiento de los equipos se logró obtener el área aproximada que ocuparían para la producción de la pintura acrílica; dejando un espacio de 1 metro entre los equipos y sus alrededores, para que el operario tenga facilidad de movilización, el área necesaria para la instalación de los equipos es de 11.23 m<sup>2</sup>. Adicional a esto se deberá tomar en cuenta el área necesaria para la recepción de la materia prima, el envasado y almacenamiento del producto

obtenido, y así saber el área total necesaria para implementar la línea de producción para la pintura acrílica.

#### 4.6 Análisis financiero

La propuesta de diseño depende del análisis financiero para descubrir si su establecimiento es factible y rentable.

El proceso industrial se ha elaborado para una producción de 25 L de pintura al día.

##### 4.6.1 Inversión fija

La inversión fija hace referencia al presupuesto económico necesario para la adquisición de maquinaria y equipos que se utilizan en todo el ciclo productivo de elaboración del fertilizante orgánico.

**Tabla 4-18:** Presupuesto inicial

Equipo	Cantidad	Costo
sistema de mezclado	1	3500.00
Triturador	1	800.00
planos en 3D de la planta	1	100.00
<b>TOTAL</b>		4400.00

Realizado por: Pila J., 2023

##### 4.6.2 Proyección de gastos de producción

**Tabla 4-19:** Costos de materia prima e insumos

Materia prima e insumos	Cantidad	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo diario (\$)	Costo semanal (\$)	Costo mensual (\$)	Costo Anual (\$)
Eps	3.56	Kg	4.8	17.09	119.62	512.64	6151.68
Solvente	8.93	Kg	2.19	19.56	136.90	586.70	7040.41
sellador	18.73	kg	3.56	66.68	466.75	2000.36	24004.37
envase	25	-	0.50	12.50	87.50	375.00	4500.00
<b>TOTAL</b>				115.82	810.76	3474.71	41696.46

Realizado por: Pila J., 2023

Las cantidades de materia prima reflejadas en la Tabla 4-18 corresponden a las cantidades calculadas anteriormente de materia prima inicial que nos permitía conocer la cantidad de producto final para producir los 25 L de pintura.

**Tabla 4-20:** Costos de trabajadores

<b>Personal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Salario mensual (\$)</b>	<b>Gasto Mensual (\$)</b>	<b>Gasto Anual (\$)</b>
Técnico	1	600	600	7200
Operario	1	450	450	5400
<b>TOTAL</b>			1050	12600

Realizado por: Pila J., 2023

**Tabla 4-21:** Costos de servicios básicos

<b>Servicio</b>	<b>Costo unidad (\$)</b>	<b>Consumo diario</b>	<b>Consumo mensual</b>	<b>Costo mensual (\$)</b>	<b>Costo Anual (\$)</b>
Electricidad (KW/h)	0.092	20	600	55.2	662.4
Agua Potable (m3)	0.48	1	30	14.4	172.8
<b>TOTAL</b>				69.6	835.2

Realizado por: Pila J., 2023

El consumo de los servicios básicos es una proyección aproximada tomando en cuenta la maquinaria y procesos en los cuales se emplea energía y agua potable.

#### 4.6.3 Capital de operaciones

Con el capital de operaciones se conocerá el efectivo necesario que la empresa necesita para cubrir los costos y gastos a corto plazo dentro del proceso productivo

**Tabla 4-22:** Gastos de producción

<b>Detalle</b>	<b>Costo mensual (\$)</b>	<b>Costo anual (\$)</b>
Gastos de materia prima e insumos	3474.71	41696.46
Costos de mano de obra	1050	12600
Costos de servicios básicos	69.6	835.2
<b>TOTAL</b>	4594.31	55131.66

Realizado por: Pila, J., 2023

Sumando todos los gastos directos calculados previamente nos proyecta un valor de \$4594.31 que la empresa necesita para producir 750 L de pintura al mes.

#### 4.6.4 Inversión total

Para conocer la inversión total para la ejecución del proyecto se suma los costos del capital de operaciones con los costos de la inversión fija que hace referencia a la adquisición de las maquinarias y equipos.

**Tabla 4-23:** Inversión total del proyecto

Denominación	Costo total (\$)	%
Inversión fija	4400.00	48.92
Capital de operaciones	4594.31	51.08
<b>TOTAL</b>	<b>8994.31</b>	<b>100</b>

Realizado por: Pila, J., 2023

Por lo tanto, la empresa necesita \$8994.31 de inversión inicial para la ejecución del proyecto con una producción de 750 L de pintura mensuales distribuidos en 25L por día.

#### 4.6.5 Costo de producción anual

**Tabla 4-24:** Costo de producción anual

Denominación	Costo total	%
Material directo (materia prima)	41696.46	75.63
Mano de obra	12600	22.85
Servicios básicos	835.2	1.51
<b>TOTAL</b>	<b>55131.66</b>	<b>100</b>

Realizado por: Pila, J., 2023

Cálculo de precio de venta al público

De acuerdo con Melnick (1958, p. 211) para calcular el precio de venta unitario de un producto relacionamos los costos de producción para la elaboración del producto añadiendo un margen de ganancia, es decir, lo que se quiere ganar. La relación se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$PVP = Gasto\ mensual * (0.2) + Gasto\ mensual$$

Donde:

PVP: precio de venta unitario al público

Gasto Mensual: corresponde a los gastos mensuales en la elaboración del fertilizante

0.2: índice del margen de ganancia, este valor se expresa a criterio propio considerando que un valor > 20% es relativamente bueno.

$$PVP = 4594.31 * (0.2) + 4594.31$$

$$PVP = \$5513.17$$

Para conocer el precio por unidad realizamos una regla de 3 simple con las unidades estimadas de producción al mes.

Precio	Unidades
\$5513.17	750
x	1

Tenemos un valor de \$7.35 para las presentaciones de 1L que se ha estimado producir en esta propuesta técnica.

#### 4.6.6 Puesta en marcha del proyecto

**Tabla 4-25:** Costos para la puesta en marcha del proyecto

Producto	Cantidad de Unidades que sale al mercado	Costo Unitario (\$)	Ingresos Diarios (\$)	Ingresos Semanales (\$)	Ingresos mensuales (\$)	Ingresos anuales (\$)
Pintura acrílica	25 L al día	7.35	183.77	1286.41	5513.17	66157.99

Realizado por: Pila, J., 2023

Al conocer los ingresos por ventas, determinamos las ganancias mensuales estimadas por la venta del fertilizante orgánico.

$$\text{ganancia Mensual} = \text{Venta mensual} - \text{Inversión mensual}$$

$$\text{ganancia Mensual} = 5513.17 - 4594.31$$

$$\text{ganancia mensual} = 918.86$$

#### 4.6.7 Punto de equilibrio

El punto de equilibrio corresponde al punto donde los ingresos son iguales a los costos, por medio del punto de equilibrio podremos conocer a partir de que cantidad de ventas la empresa de fertilizantes comenzará a generar ganancias y conocer si nuestro proyecto es viable.

Para realizar el cálculo correspondiente aplicamos la fórmula propuesta por Melnick (1958, p. 87).

$$PE = \frac{CFT}{1 - \frac{CVT}{VT}}$$

Donde:

PE: punto de equilibrio

CFT: costos fijos totales, correspondiente a la inversión total del proyecto.

CVT: costos variables totales, correspondiente a los costos de producción anuales.

VT: ventas totales estimadas al año.

$$PE = \frac{8994.31}{1 - \frac{55131.66}{66157.99}}$$
$$PE = \$53,965.83$$

Margen de utilidad: 0.2

$$PE = \$53,965.83 * 0.2$$
$$PE = \$10,793.17$$

Los resultados expresados muestran que la empresa necesita vender \$10,829.65 para alcanzar el punto de equilibrio.

#### **4.6.8 Utilidad neta**

Por medio de la utilidad neta podremos conocer los beneficios económicos que tendrá la empresa, para ello restamos las ventas de los costos de producción que implica obtener el producto. La utilidad neta es proyectada a 5 años para conocer en qué tiempo se podrá recuperar la inversión fija necesaria para implementar la empresa.

De acuerdo con los gastos, se estima que a lo largo de los años se sufrirá un reajuste del 2,5 % y las ventas subirán en un 3%. Este reajuste se lo realiza por prevención de cambios en el mercado, aumento de precios o competencias.

Por lo tanto, las ventas proyectadas anuales se le multiplica por (1,025) y los costos de las unidades vendidas el (1,03).

2,5 % + 100 % = 1,025

3% + 100 % = 1,03

**Tabla 4-26:** Flujo en caja en 5 años proyectados

Parámetro	Años Proyectados				
	2024	2025	2026	2027	2028
Ventas anuales	\$ 66157.99	\$ 67811.94	\$ 69507.24	\$ 71244.92	\$ 73026.04
Costo de producción anual	\$ 55131.66	\$ 56785.61	\$ 58489.18	\$ 60243.85	\$ 62051.17
Utilidad neta o flujo de caja	\$ 11026.33	\$ 11026.33	\$ 11018.06	\$ 11001.07	\$ 10974.88

Realizado por: Pila, J., 2023

Para conocer la viabilidad económica del proyecto implementamos estos valores en el cálculo del TIR Y VAN.

#### 4.6.9 Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto es el valor de los flujos futuros restando la inversión inicial, esto nos permitirá conocer la rentabilidad del proyecto en términos monetarios. El VAN se rige por la acción de tres condiciones:

VAN < 0 el proyecto genera pérdidas por lo que debería ser rechazado.

VAN > 0 el proyecto es viable obteniendo ganancias.

VAN = 0 el proyecto no genera ni beneficios ni pérdidas

Para el cálculo del VAN utilizamos la siguiente fórmula:

$$I = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

Donde:

**I** = inversión de cada año.

**F** = flujo de caja estimado en cada año

**i** = tasa de interés que se exige a la inversión.

**n** = número de periodos de tiempo (años)

En la tabla 46-3 se resume los valores obtenidos en el cálculo del valor actual neto, el cual se estima una tasa de interés del 10% (0,10).

**Tabla 4-27:** Valor actual neto del proyecto

Inversión Inicial	\$8,994				
Año	Tiempo (n)	Flujo de caja	Interés	Ecuación	I
2024	0	\$ 11026.33	10%	$I = \frac{F}{(1+i)^n}$	\$ 11026.33
2025	1	\$ 11026.33			\$ 10023.94
2026	2	\$ 11018.06			\$ 9105.84
2027	3	\$ 11001.07			\$ 8265.27
2028	4	\$ 10974.88			\$ 7495.99
TOTAL					\$ 45917.36

Realizado por: Pila, J., 2023

Tenemos un VAN de \$45917.36 esto quiere decir que se recupera la inversión inicial para la tasa que se está considerando del 10% y se tiene un excedente de \$45917.36, el proyecto está agregando valor.

#### 4.6.10 Taza interna de retorno (TIR)

La TIR es otro indicador clave de la rentabilidad de una empresa, con ello comprobamos si la tasa de rentabilidad es mayor a la tasa de interés. Usando esta medida, se puede estimar la ganancia o pérdida de un proyecto de inversión específico. Esto se hace de acuerdo con los siguientes criterios:

TIR < i el proyecto es rechazado.

TIR > i el proyecto es aceptado.

TIR = i el proyecto indistinto.

##### 4.6.10.1 Cálculo del TIR

Para conocer el porcentaje de la tasa interna de retorno hacemos uso de Microsoft Excel, donde utilizamos los valores del flujo de caja y restando la inversión inicial. Los valores son ingresados en el software insertando la siguiente función:

**Tabla 4-28:** Tasa interna de retorno

Inversión inicial	-\$ 8994.31
	\$ 11026.33
	\$ 11026.33
	\$ 11018.06
	\$ 11001.07
	\$ 10974.88
=TIR (valores; [estimar])	120%

Realizado por: Pila, J., 2023

Con los valores establecidos obtenemos un TIR de 120%, valor mayor a la tasa de interés de 10% por lo tanto el proyecto es factible de realizar.

#### 4.6.10.2 Comprobación del TIR

**Tabla 4-29:** Comprobación del TIR

<b>Inversión Inicial</b>	-\$ 8994.31				
<b>Año</b>	<b>Tiempo (n)</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>Interés</b>	<b>Ecuación</b>	<b>I</b>
2024	0	\$ 11026.33	120%	$I = \frac{F}{(1+i)^n}$	\$ 11026.33
2025	1	\$ 11026.33			\$ 5007.74
2026	2	\$ 11018.06			\$ 2272.62
2027	3	\$ 11001.07			\$ 1030.55
2028	4	\$ 10974.88			\$ 466.92
<b>TOTAL</b>					19804.17

Realizado por: Pila, J., 2023

#### 4.6.11 Periodo de recuperación

Al calcular el período de recuperación, se determinará el tiempo real esperado de retorno de la inversión y cuándo comenzarán a sentirse los primeros beneficios de la implementación del proyecto.

Tabla4-30: Periodo de recuperación del proyecto

Periodo (años proyectados)	Flujo de caja (i)	Flujo acumulado
0	-8994.31	-8994.31
1	11026.33	2032.03
2	10023.94	12055.97
3	9105.84	21161.80
4	8265.27	29427.07
5	7495.99	36923.05

Realizado por: Pila, J., 2023

La Tabla 4-29 indica el flujo neto acumulado del proyecto en el periodo de 5 años proyectados, este valor fue calculado partiendo de la inversión obtenida en el VAN con una tasa de descuento del 10%, el periodo 0 con un valor de - \$ 9024.71 es la inversión inicial del proyecto, a cada flujo (I) se le suma el valor del año siguiente, obteniendo un flujo acumulado de \$ 37196.48 en el último año.

Con estos valores calculamos el periodo de recuperación (PDR) con la siguiente ecuación:

$$PDR = \text{último periodo acumulativo negativo} + \frac{|\text{último flujo acumulado negativo}|}{\text{flujo de caja del año siguiente}}$$

$$PDR = 0 + \frac{|-8994.31|}{11026.33}$$

$$PDR = 0.816$$

0.816 equivale a 9.79 meses, es decir que al término del décimo mes del año 0 la inversión inicial de \$ 8994.31 se recupera, es decir, su implementación y la producción.

#### 4.6.12 Beneficio costo del proyecto

$$BC = \frac{BENEFICIO}{COSTO}$$

$$BC = \frac{45917.36}{19804.17}$$

$$BC = 2.32$$

Cómo se obtuvo en la relación Costo – Beneficio un resultado mayor a 1 podemos aceptar la inversión, es viable.

#### **4.7 Factibilidad económica**

De acuerdo al valor de TIR de \$ 19804.17 obtenido en la tabla 4-28, y el valor del VAN de \$ 45917.36 obtenido en la tabla 4-26, establece que el proyecto tiene factibilidad económica dado que, después de 10 meses se recupera la inversión y comienza a generar utilidades.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Se realizó la caracterización fisicoquímica y mecánicas del poliestireno expandido con base a la norma ASTM D6817:2018, y se comprobó que la materia prima utilizada en el presente trabajo es el poliestireno expandido es del tipo V, dando así un valor de densidad de  $25 \text{ Kg/m}^3$ ,  $35 \text{ MW/mK}$  de conductividad térmica,  $35 - 50 \text{ Kpa}$  de resistencia a la compresión,  $200 \text{ Kpa}$  de resistencia a la flexión,  $100 \text{ Kpa}$  de resistencia al cizallamiento,  $320 - 410 \text{ Kpa}$  de resistencia a la tracción,  $0.5 - 1.5 \%$  de absorción de agua por inmersión durante 7 días, y  $1 - 3 \%$  de absorción de agua por inmersión durante 28 días

Se identificaron las variables para el diseño del proceso de producción de la pintura acrílica con efecto impermeabilizante, las cuales son: la velocidad de rotación para la trituración del poliestireno expandido de  $150 \text{ RPM}$ , el tamaño de partícula es de  $1 \text{ cm}$ , la concentración de la solución de poliestireno expandido en el solvente es de  $29\%$ , la relación entre la solución de poliestireno en solvente con el sellador es de  $4:6$ , el tiempo de mezclado es de 5 minutos, y la velocidad del mezclado es de  $300 \text{ RPM}$ .

Se dimensionaron los equipos necesarios para el diseño de proceso de obtención de pintura acrílica los cuales son: un tanque con base cónica de  $0.018 \text{ m}^3$  para la dosificación del sellador, un tanque con base cónica de  $0.012 \text{ m}^3$  para la dosificación del thinner acrílico, un triturador de poliestireno expandido con una capacidad de  $0.17 \text{ m}^3$ , y un tanque de agitación y mezclado de  $0.03 \text{ m}^3$  para la obtención del producto final, todos los equipos diseñados para el proceso deben ser de acero inoxidable 304, y requerirán un área de  $11.23 \text{ m}^2$  para su instalación y manipulación.

Se realizó la validación técnica del proyecto mediante la caracterización fisicoquímica de la pintura acrílica obtenida con base a la norma NTC 1335:2015, dando valores de  $55.339 \%$  de material no volátil,  $1.2489 \text{ g/mL}$  de densidad,  $\text{pH}$  de  $8.1$ ,  $18542 \text{ CPs}$  de viscosidad y cumplió con los parámetros de secado al tacto, resistencia al lavado, al entizamiento y al almacenamiento. Con lo cual se comprobó que el producto cumple con los parámetros de calidad establecidos por la norma. También se validó económicamente el proyecto mediante los cálculos del TIR cuyo valor fue de  $\$ 19804.17$  y el VAN cuyo valor fue de  $\$ 45917.36$  y así comprobamos que la implementación del mismo si es factible.

## **5.2 Recomendaciones**

Para este proyecto se recomienda una buena selección de la materia prima, si presenta algún tipo de residuo distinto a su naturaleza química o física, este debe ser eliminado antes de ser ingresado al proceso de producción de pintura.

Para nuevas investigaciones se puede utilizar selladores reciclados u obtener naturalmente un componente que tenga características similares al sellador y ver su funcionalidad en el proceso de producción, y a la vez que no sea una fuente de contaminación ambiental.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ASSAAD, J.J., MIKHAEL, C. y HANNA, R.** “Recycling of waste expanded polystyrene concrete in lightweight sandwich panels and structural applications”. *Cleaner Materials* [en línea], 2022, (Líbano) 4, pp. 3. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 27723976. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100095>.

**ASTM D6817 / D6817M-17:2018.** *Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geof foam.*

**CHEW, M.Y.L.** “Joint sealant for wall cladding”. *Polymer Testing* [en línea], 2000. (Singapur) 19(6), pp. 643-651. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 0142-9418. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(99\)00038-0](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(99)00038-0).

**COUPER, J., PENNEY, W., FAIR, J., Y WALAS, S.** *Chemical process equipment selection and desing.* USA: Elsevier., 2da ed. 2005. p.292.

**EGUCHI, K.** “Quantitative analysis of initiation site of pitting corrosion on type 304 austenitic stainless steel.”. *Corrosion Science*, [en línea], 2023. (Japón) 221, pp. 2-4. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 0010-938X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.CORSCI.2023.111312>.

**ESKANDER, S.B., SALEH, H.M., TAWFIK, M.E. y BAYOUMI, T.A.** “Towards potential applications of cement-polymer composites based on recycled polystyrene foam wastes on construction fields: Impact of exposure to water ecologies”. *Case Studies in Construction Materials* [en línea], 2021. (Egipto) 15, pp. 2-5. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 22145095. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00664>.

**GUTIERREZ-VELASQUEZ, E.I., MONTEIRO, S.N. y COLORADO, H.A.** “Characterization of expanded polystyrene waste as binder and coating material”. *Case Studies in Construction Materials* [en línea], 2022. (Colombia) 16, pp. 3-5. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 2214-5095. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2021.E00804>.

**HIDALGO-CRESPO, J., MOREIRA, C.M., JERVIS, F.X., SOTO, M., AMAYA, J.L. y BANGUERA, L.** “Circular economy of expanded polystyrene container production: Environmental benefits of household waste recycling considering renewable energies”. *Energy Reports* [en línea], 2022. (Ecuador) 8, pp. 2. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 23524847. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.071>.

**JIN, X., WU, X., CUI, S., WANG, W., ZHANG, Y., SUN, S. y SUN, D.** “A robust adhesion between extruded polystyrene foam and mortar through different chemical linkages under ultraviolet-ozone irradiation”. *Construction and Building Materials* [en línea], 2022. (China) 345, pp. 2. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 0950-0618. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128414>.

**LÓPEZ PEDRAJAS, D., CARMONA FRANCO, M., GARRIDO SÁENZ, I., RAMOS MELLADO, F.J., RODRÍGUEZ ROMERO, J.F. y BORREGUERO SIMÓN, A.M.** “Polystyrene nanoparticles slurry as an additive for developing insulating and waterproof gypsum composites”. *Applied Thermal Engineering* [en línea], 2022. (España) 217, pp. 1-3. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 1359-4311. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2022.119271>.

**MCCABE, WARREN L., SMITH, JULIAN C. & HARRIOT, PETER.** *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México: McGraw-Hill/Interamericana, 7ma Ed, 2007. pp.261-263.

**MELNICK, J.** *Manual de Proyectos de Desarrollo Económico* [en línea]. México – D. F. 1958. [Consulta: 22 febrero 2023]. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2586/S5828031\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2586/S5828031_es.pdf)

**MENG, X., LI, Y., ALMASOUD, N., WANG, W., ALOMAR, T.S., LI, J., YE, X., ALGADI, H., SEOK, I., LI, H., XU, B. Bin, LU, N., EL-BAHY, Z.M. y GUO, Z.** “Compatibilizing and toughening blends of recycled acrylonitrile-butadiene-styrene/recycled high impact polystyrene blends via styrene-butadiene-glycidyl methacrylate terpolymer”. *Polymer* [en línea], 2023. (China) 272, pp. 2. [Consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 0032-3861. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2023.125856>.

**MOHAMMED, A. y RAO, D.N.**, “Investigation on mechanical properties of flax fiber/expanded polystyrene waste composites”. *Heliyon* [en línea], 2023. (Etiopía) 9, pp. 2. [consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 2405-8440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E13310>.

**MONDAL, M.K., BOSE, B.P. y BANSAL, P.**, “Recycling waste thermoplastic for energy efficient construction materials: An experimental investigation”. *Journal of Environmental Management* [en línea], 2019. (India) 240, pp. 2. [consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 0301-4797. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.03.016>.

**NISAR, J., ALI, G., SHAH, A., FAROOQI, Z.H., IQBAL, M., KHAN, S., SHERAZI, S.T.H. y SIRAJUDDIN** “Production of fuel oil and combustible gases from pyrolysis of polystyrene waste: Kinetics and thermodynamics interpretation”. *Environmental Technology and Innovation* [en línea], 2021. (Pakistan) 24, pp. 2. [consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 23521864. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101996>.

**NISAR, J., ALI, G., SHAH, A., IQBAL, M., KHAN, R.A., SIRAJUDDIN, ANWAR, F., ULLAH, R. y AKHTER, M.S.** “Fuel production from waste polystyrene via pyrolysis: Kinetics and products distribution”. *Waste Management* [en línea], 2019. (Pakistan) 88, pp. 2. [consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 18792456. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.035>.

**NTC 1335:2015.** *Pinturas al agua tipo emulsión.*

**PANG, M. HUA, ZHAI, S. JIE, HU, Y. KUN, ZHANG, Q. CHEN, MA, L. JIE Y FENG, Q. GAO.** “Tribological properties of 304 stainless steel with rainwater corrosión”. *Materials Chemistry and Physics*, [en línea], 2023. (China) 297, pp. 2. [consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 0254-0584. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2023.127329>.

**TRAN, G.T.H., KOIKE, M., UCHIKOSHI, T. y FUDOUZI, H.** “Fabrication of polystyrene colloidal crystal film by electrophoretic deposition”. *Advanced Powder Technology* [en línea], 2020. (Japón) 31(8), pp. 2. [consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 0921-8831. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.APT.2020.05.029>.

**ZARAGOZA-BENZAL, A., FERRÁNDEZ, D., ATANES-SÁNCHEZ, E. y SAÍZ, P.** “Dissolved recycled expanded polystyrene as partial replacement in plaster composites”. *Journal of Building Engineering* [en línea], 2023. (España) 65, pp. 2. [consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 2352-7102. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.105697>.

**ZHANG, Y., LI, X., ZHU, J., WANG, S. y WEI, B.** “Hybrids of CNTs and acrylic emulsion for the consolidation of wall paintings”. *Progress in Organic Coatings* [en línea], 2018. (China) 124, pp. 2. [consulta: 22 febrero 2023]. ISSN 0300-9440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.PORGCOAT.2018.08.016>.



## **ANEXOS**

### **ANEXO A: RECOLECCIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO**



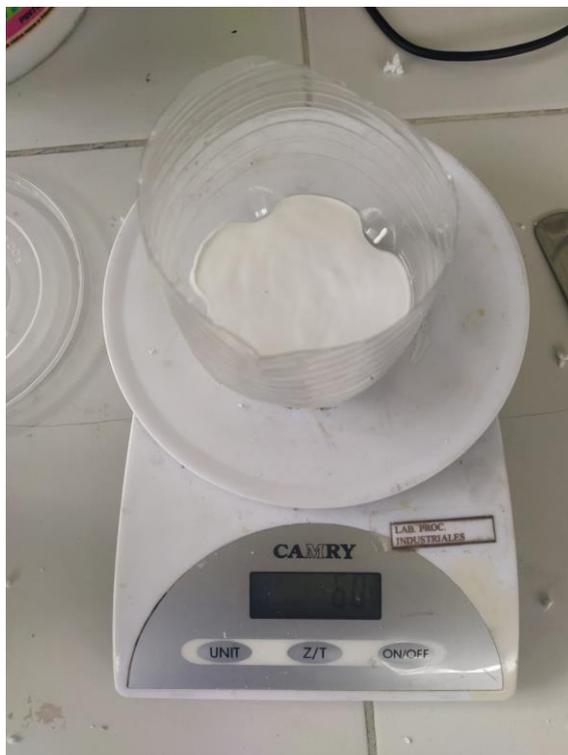
### **ANEXO B: TRITURACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO**



**ANEXO C: DILUCIÓN DEL POLIESTIRENO EN EL SOLVENTE**



**ANEXO D: PESAJE DEL SELLADOR**



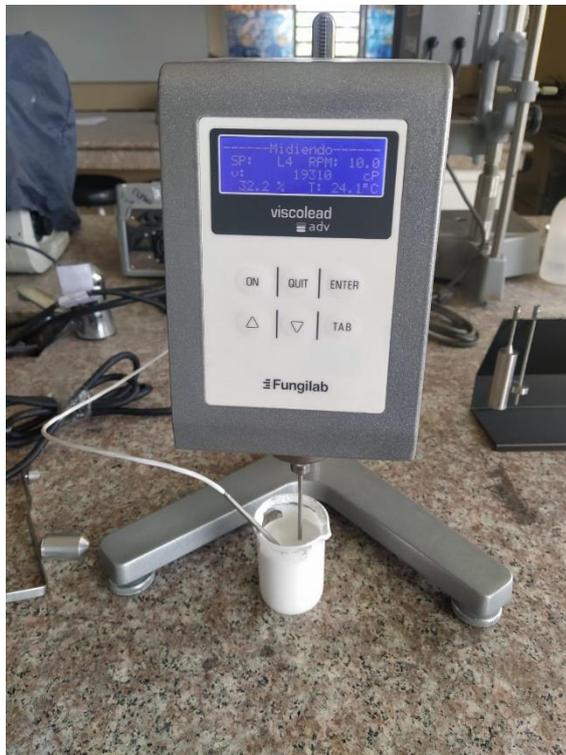
## ANEXO E: SISTEMA DE MEZCLADO A PEQUEÑA ESCALA



## ANEXO F: MEZCLADO DE LOS REACTIVOS



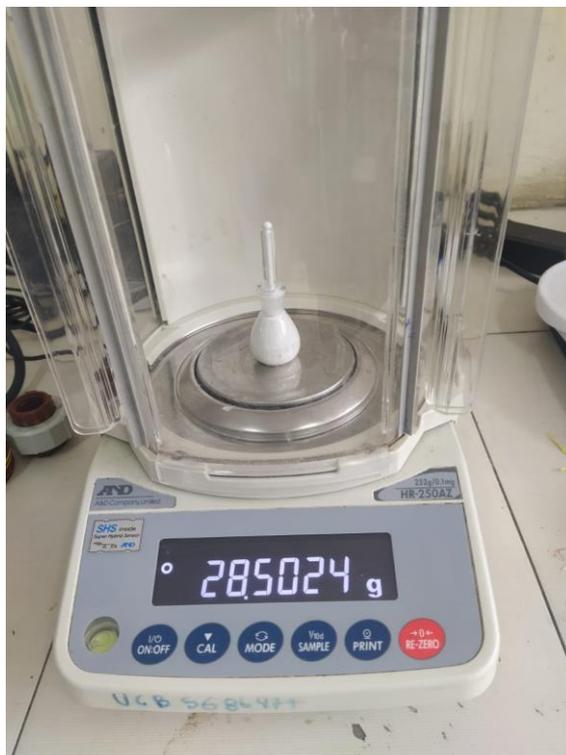
## ANEXO G: PRUEBA DE VISCOSIDAD DE LA PINTURA OBTENIDA



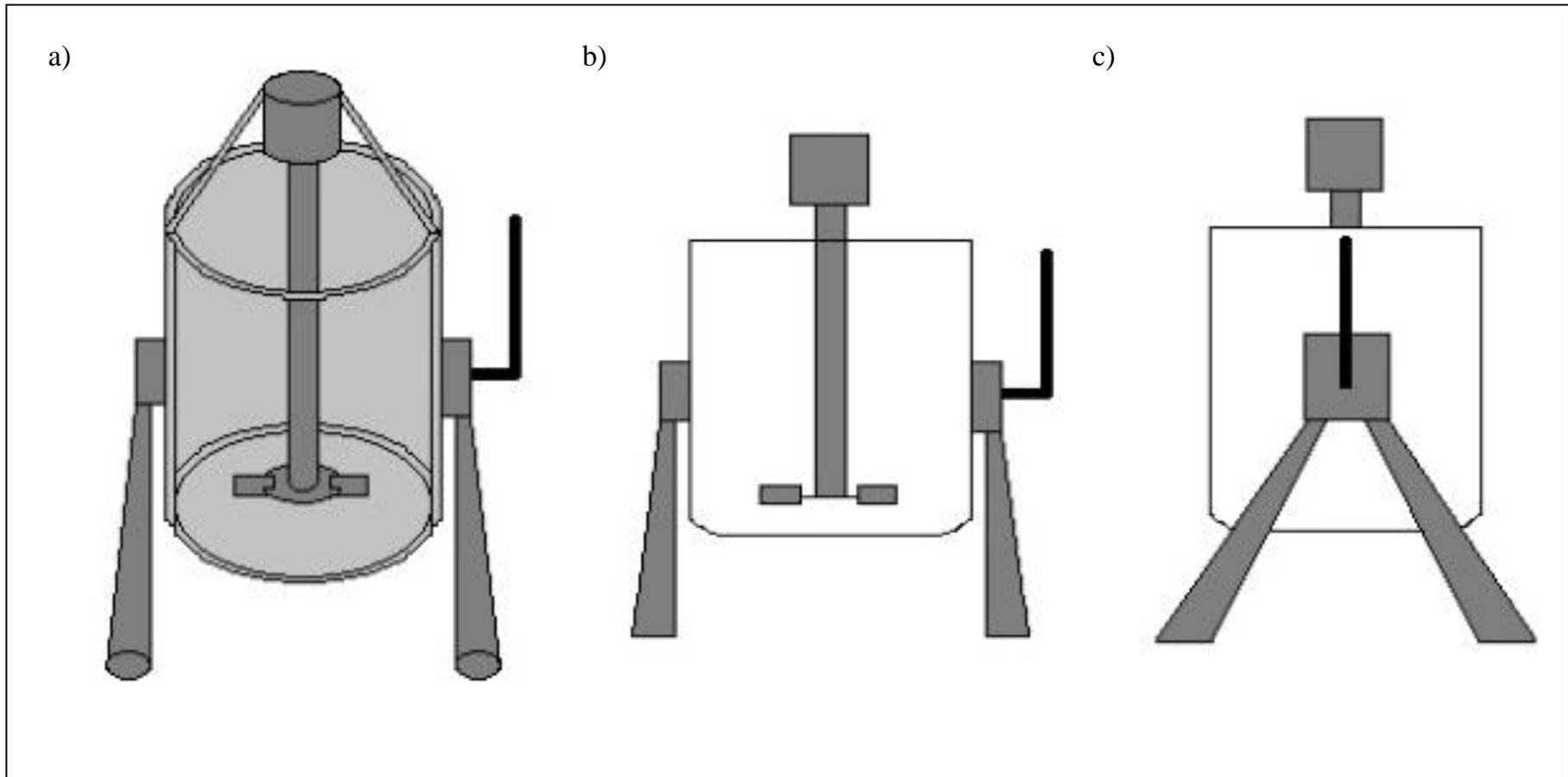
**ANEXO H: PRUEBA DE pH DE LA PINTURA OBTENIDA**



**ANEXO I: PRUEBA DE DENSIDAD DE LA PINTURA OBTENIDA**

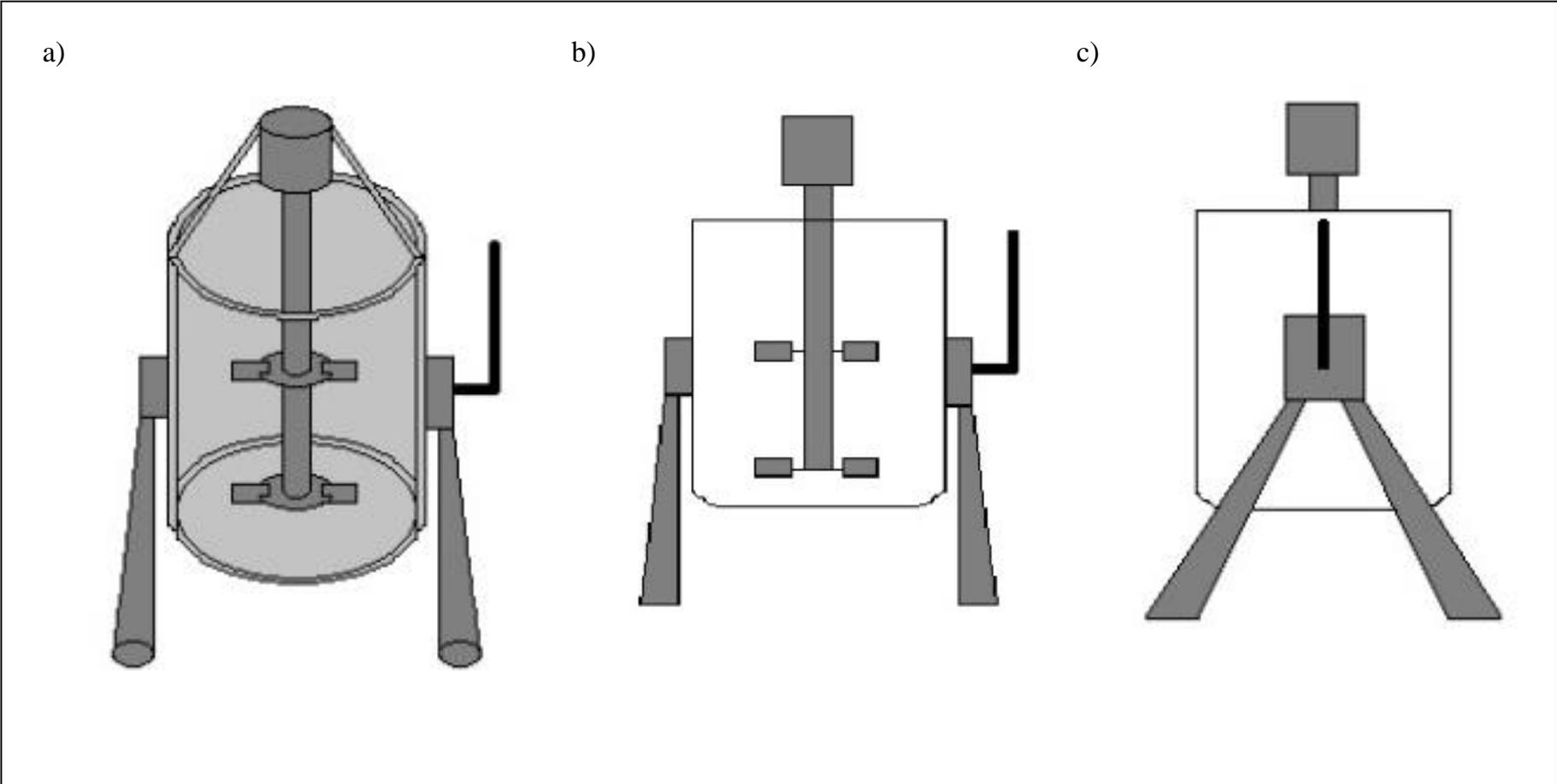


**ANEXO J: DISEÑO DEL TANQUE DE TRITURACIÓN**



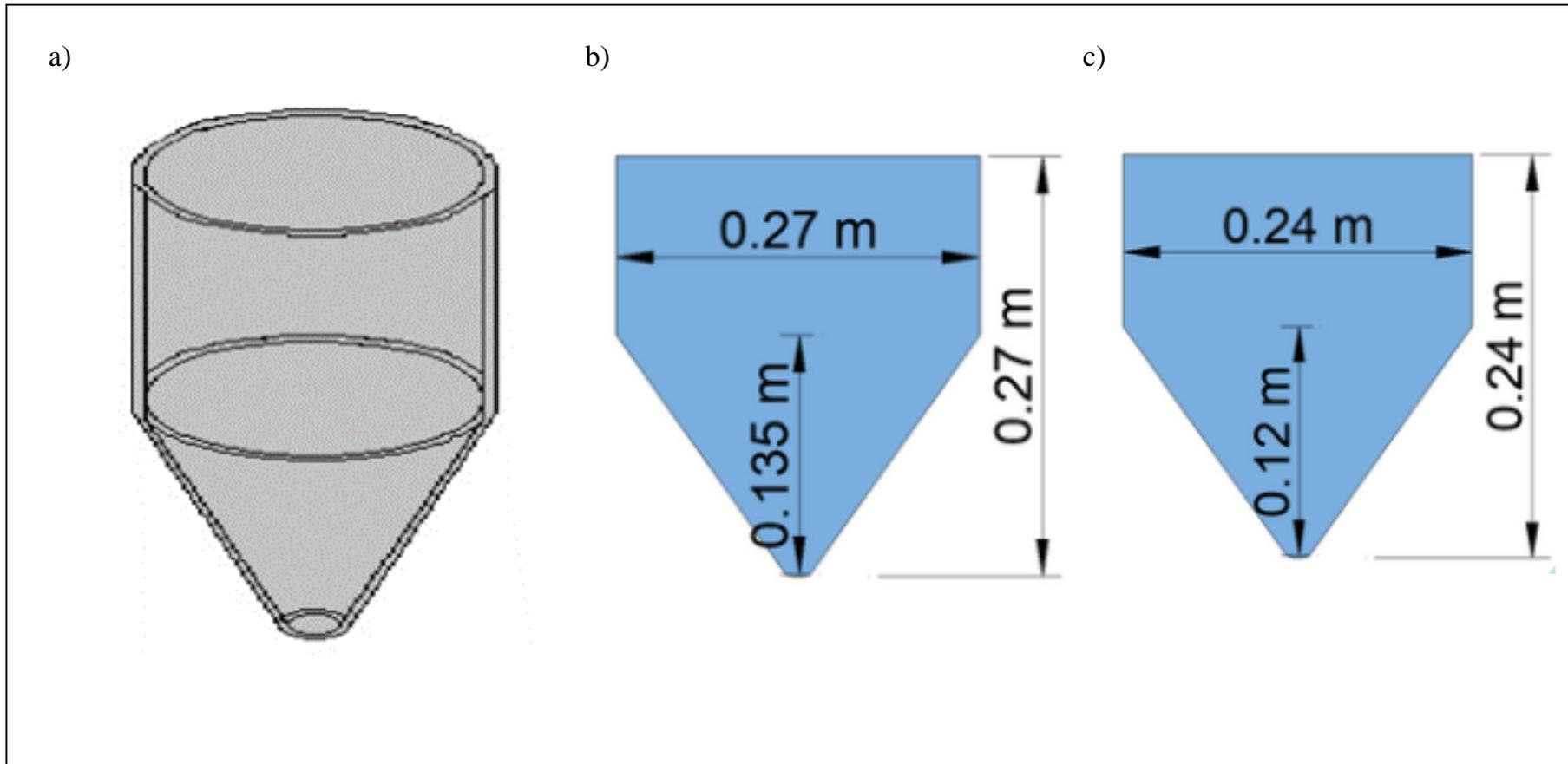
<b>NOTAS:</b> a) Diseño 3D del triturador b) Vista frontal del triturador c) Vista lateral del triturador	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA  ELABORADO POR: PILA GUAGUA JEAN PIERRE	<b>DISEÑO DEL TRITURADOR</b>		
			LAMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/08/18

**ANEXO K: DISEÑO DEL TANQUE MEZCLADOR**



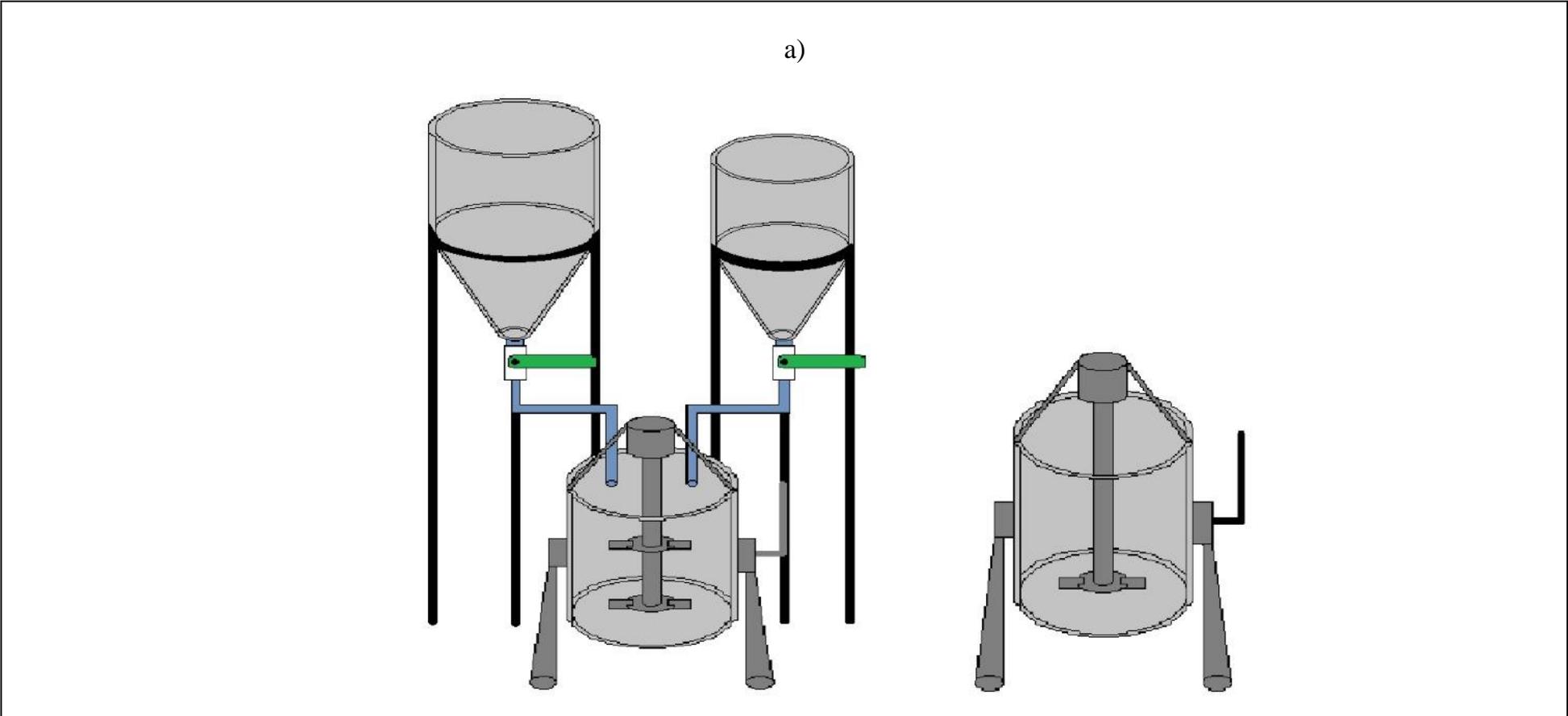
<b>NOTAS:</b> a) Diseño 3D del mezclador b) Vista frontal del mezclador c) Vista lateral del mezclador	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: PILA GUAGUA JEAN PIERRE	<b>GRADOS API DEL CRUDO</b>					
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>2023/08/18</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:1
LÁMINA	ESCALA	FECHA						
1	1:1	2023/08/18						

**ANEXO L: DISEÑO DE LOS TANQUE DOSIFICADORES**



<b>NOTAS:</b> a) Diseño 3D de los tanques dosificadores b) Vista frontal y lateral del tanque dosificador de sellador c) Vista frontal y lateral del tanque dosificador de thinner.	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: PILA GUAGUA JEAN PIERRE	<b>DISEÑO DE LOS TANQUES DOSIFICADORES</b>		
			<b>LAMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			1	1:1	2023/08/18

**ANEXO M: DISEÑO DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN**



<b>NOTAS:</b> a) Propuesta del diseño de la línea de producción de pintura acrílica	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: PILA GUAGUA JEAN PIERRE	<b>DISEÑO DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN</b>		
			<b>LAMINA</b> 1	<b>ESCALA</b> 1:1	<b>FECHA</b> 2023/06/26



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 01 / 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Jean Pierre Pila Guagua
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



2091-DBRA-UPT-2023