



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“EFECTO DE LA ADICION DE DIFERENTES AGENTES  
PLASTIFICANTES EN LAS CARACTERISTICAS FINALES DEL  
PVC (POLICLORURO DE VINILO)”**

**Trabajo de titulación:**

**Tipo:** Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERIA QUIMICA**

**AUTORA:**

**ANA GABRIELA CAMACHO BENALCÁZAR**

Riobamba – Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“EFECTO DE LA ADICION DE DIFERENTES AGENTES  
PLASTIFICANTES EN LAS CARACTERISTICAS FINALES DEL  
PVC (POLICLORURO DE VINILO)”**

**Trabajo de titulación:**

**Tipo:** Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERIA QUIMICA**

**AUTORA:** ANA GABRIELA CAMACHO BENALCÁZAR

**DIRECTOR:** Ing. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Ana Gabriela Camacho Benalcázar**

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

Yo, **Ana Gabriela Camacho Benalcázar** declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 17 de septiembre de 2021

**Ana Gabriela Camacho Benalcázar**  
C.I. 080372104-2

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

El tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El presente trabajo de titulación: tipo: Proyecto de investigación. “**EFFECTO DE LA ADICION DE DIFERENTES AGENTES PLASTIFICANTES EN LAS CARACTERÍSTICAS FINALES DEL PVC (POLICLORURO DE VINILO)**” de responsabilidad de la señorita **Ana Gabriela Camacho Benalcázar**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

2021-09-17



Ing, Hanníbal Lorenzo Brito Moina Ph.D.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

2021-09-17



Firmado electrónicamente por:  
**ADRIAN ALEJANDRO  
RODRIGUEZ PINOS**

Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

2021-09-17

## **DEDICATORIA**

Mi título es dedicado primeramente para Dios que nunca permitió que me echará para atrás, luego se lo dedico a mis padres Anatilde Benalcázar y Italo Camacho que siempre me apoyaron incondicionalmente en cada paso que he dado y también a mis hermanas que siempre están pendiente de mí, que gracias a ustedes he cumplido cada propósito que me he planteado. Gracias por tanto.

Y también a mis tías que me cuidaron desde niña hasta ahora y a mi perrito Groot que me acompaña siempre en todo lo que hago es el apoyo incondicional en todos mis días.

Por ultimo a mis sobrinos que me han dado mucho cariño los quiero mucho.

Con mucho cariño.

Gabriela

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Virgencita y Dios que ilumino mi camino, a mis padres y familiares más cercanos que siempre están para mí y por último a mis profesores que impartieron en mis conocimientos muy importantes que hoy me ayudaron a culminar con mi profesión.

Este título va dedicado para todos los que creyeron en mí incluyendo a mis amigos. Gracias por estar conmigo a todos estoy agradecida infinitamente por el cariño y alegrías impartidas. Gracias por tanto amor

Gabriela

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1
Identificación del Problema .....	2
Justificación de la Investigación.....	2
Objetivos de la Investigación.....	4
General.....	4
Específicos.....	4
CAPITULO I.....	5
1. <b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	5
1.1. <b>Antecedentes de la investigación</b> .....	5
1.2. <b>Marco Conceptual o Glosario</b> .....	6
1.2.1. <b>PVC</b> .....	6
1.2.2. <b>Propiedades del PVC</b> .....	6
1.2.2.1. <b>Propiedades químicas</b> .....	6
1.2.2.2. <b>Propiedades térmicas</b> .....	6
1.2.3. <b>Propiedades mecánicas</b> .....	7
1.3. <b>Obtención del PVC</b> .....	7
1.3.1. <b>Polimerización en Suspensión</b> .....	7
1.3.2. <b>Polimerización en Masa</b> .....	9

1.3.3.	<i>Polimerización en Emulsión</i> .....	9
1.4.	<b>Tipos de aditivos</b> .....	9
1.5.	<b>Plastificantes</b> .....	11
1.6.	<b>Teorías de la plastificación</b> .....	11
1.6.1.	<i>Modelo de Moorshead</i> .....	12
1.7.	<b>Formulación básica del PVC</b> .....	14
1.7.1.	<i>Policloruro de vinilo</i> .....	15
1.7.2.	<i>Plastificantes</i> .....	15
1.7.2.1.	<i>Tipos de plastificación</i> .....	15
1.7.3.	<i>Relleno</i> .....	16
1.7.4.	<i>Pigmentos</i> .....	17
1.7.5.	<i>Estabilizadores o coestabilizadores</i> .....	18
1.7.6.	<i>Lubricantes</i> .....	18
1.7.7.	<i>Aditivos</i> .....	18
1.8.	<b>Operaciones unitarias para la producción del PVC</b> .....	19
1.8.1.	<i>Agitación y mezclado</i> .....	19
1.8.2.	<i>Extrusión y moldeo</i> .....	20
1.8.3.	<i>Cámara al vacío</i> .....	20
1.8.4.	<i>Cortadora</i> .....	21
1.9.	<b>Tipos de PVC</b> .....	21
1.9.1.	<i>PVC flexible</i> .....	21
1.9.2.	<i>PVC corrugado</i> .....	23
1.9.3.	<i>PVC duro</i> .....	25
 <b>CAPITULO II</b> .....		 28
2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	28
2.1.	<b>Hipótesis y especificación de las variables</b> .....	28
2.1.1.	<i>Hipótesis general</i> .....	28
2.1.2.	<i>Hipótesis específicas</i> .....	28
2.2.	<b>Operacionalización de las variables</b> .....	31
2.3.	<b>Matriz de consistencia</b> .....	32
2.4.	<b>Tipo y Diseño de Investigación</b> .....	35

2.4.1.	<i>Método inductivo</i> .....	35
2.4.2.	<i>Unidad de Análisis</i> .....	35
2.4.3.	<i>Población de estudio</i> .....	35
2.4.4.	<i>Tamaño de muestra</i> .....	35
2.4.5.	<i>Selección de muestra</i> .....	38
2.4.6.	<i>Localización del trabajo de titulación</i> .....	38
2.4.7.	<i>Técnicas de Recolección de datos</i> .....	39
2.4.8.	<i>Formulación de distintos tipos de PVC y su preparación</i> .....	40
2.4.9.	<i>Determinación de resistencia a la tensión y flexión</i> .....	43
2.4.10.	<i>Determinación de resistencia a la abrasión</i> .....	44
2.4.11.	<i>Determinación de resistencia a la fractura</i> .....	45
2.4.12.	<i>Determinación de densidad</i> .....	47
2.4.13.	<i>Determinación del pH</i> .....	48
2.4.14.	<i>Determinación del cloro</i> .....	49
2.4.15.	<i>Determinación del nitrógeno</i> .....	50
2.4.16.	<i>Técnicas para el análisis estadístico de los datos</i> .....	51

**CAPITULO III**..... 53

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS</b> .....	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Resultados del formulación</b> .....	<b>53</b>
<b>3.2.</b>	<b>Resultados de las pruebas físicas</b> .....	<b>54</b>
3.2.1.	<i>Resistencia a la tensión, N/cm<sup>2</sup></i> .....	54
3.2.2.	<i>Resistencia a la flexión, %</i> .....	56
3.2.3.	<i>Lastometría, ciclos</i> .....	57
3.2.4.	<i>Resistencia a la fractura</i> .....	58
<b>3.3.</b>	<b>Pruebas Químicas</b> .....	<b>60</b>
3.3.1.	<i>Determinación de Cloro</i> .....	60
3.3.2.	<i>Determinación de Nitrógeno</i> .....	61
3.3.3.	<i>Determinación de las características a la llama</i> .....	61
3.3.3.1.	<i>Apariencia del humo</i> .....	61
3.3.3.2.	<i>pH del humo</i> .....	62
3.3.4.	<i>Densidad</i> .....	63
<b>3.4.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>65</b>

<b>3.5.</b>	<b>Comprobación de hipótesis .....</b>	<b>71</b>
<b>3.5.1.</b>	<b><i>Comprobación de la hipótesis general.....</i></b>	<b>71</b>
<b>3.5.2.</b>	<b><i>Comprobación de las hipótesis específicas.....</i></b>	<b>71</b>
3.5.2.1.	<i>Comprobación de la hipótesis específica 1.....</i>	72
3.5.2.2.	<i>Comprobación de la hipótesis específica 2.....</i>	73
3.5.2.3.	<i>Comprobación de la hipótesis específica 3.....</i>	74
3.5.2.4.	<i>Comprobación de la hipótesis específica 4.....</i>	75
<b>3.6.</b>	<b>Costos de la investigación .....</b>	<b>76</b>
CONCLUSIONES .....		79
RECOMENDACIONES .....		80
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Receta para una polimerización en suspensión.....	9
<b>Tabla 2-1:</b>	Aditivos para plásticos.....	11
<b>Tabla 3-1:</b>	Plastificantes más frecuentes.....	14
<b>Tabla 4-1:</b>	Composición de PVC flexible.....	24
<b>Tabla 5-1:</b>	Composición de PVC corrugado.....	25
<b>Tabla 6-1:</b>	Composición de PVC duro.....	28
<b>Tabla 1-2:</b>	Hipótesis y especificación de las variables.....	33
<b>Tabla 2-2:</b>	Operacionalización para la obtención del PVC.....	35
<b>Tabla 3-2:</b>	Matriz de consistencia aspectos generales.....	37
<b>Tabla 4-2:</b>	Matriz de consistencia aspectos específicos.....	38
<b>Tabla 5-2:</b>	Formulación para PVC blando.....	45
<b>Tabla 6-2:</b>	Formulación para PVC corrugado.....	46
<b>Tabla 7-2:</b>	Formulación para PVC duro.....	47
<b>Tabla 8-2:</b>	Técnica de Determinación de resistencia a la tensión y flexión según la norma ASTM D882.....	48
<b>Tabla 9-2:</b>	Técnica de Determinación de resistencia a la abrasión según la norma NTE INEN-ISO 17067-2.....	49
<b>Tabla 10-2:</b>	Técnica para la evaluación de la resistencia a la fractura de acuerdo con el método de Charpi indicado en la norma ASTM.....	50
<b>Tabla 11-2:</b>	Técnica para la evaluación de la densidad de los polímeros indicado en la norma ASTM D 792-07.....	51
<b>Tabla 12-2:</b>	Técnica para la evaluación del pH del humo del PVC ISO 182-2: 1990.....	52
<b>Tabla 13-2:</b>	Técnica para la evaluación del cloro con NTE INEN ISO 7393-1.....	53
<b>Tabla 14-2:</b>	Técnica para la evaluación del nitrógeno con ASTM D2863.....	54
<b>Tabla 15-2:</b>	Esquema del ANOVA.....	55
<b>Tabla 16-2:</b>	Esquema del experimento utilizado para la determinación de las variables de proceso.....	55
<b>Tabla 17-2:</b>	Esquema del anova utilizado para la determinación de la significancia de las variables.....	55

<b>Tabla 1-3:</b>	Formulación de los tipos de PVC.....	56
<b>Tabla 2-3:</b>	Resumen del análisis de la varianza de las resistencias físicas por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	57
<b>Tabla 3-3:</b>	Análisis de la varianza de la resistencia a la tensión por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	58
<b>Tabla 4-3:</b>	Análisis de la varianza de la resistencia a la flexión por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	59
<b>Tabla 5-3:</b>	Análisis de la varianza de la lastometría por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	61
<b>Tabla 6-3:</b>	Análisis de la varianza de la resistencia a la fractura por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	62
<b>Tabla 7-3:</b>	Resumen del análisis de la varianza de las pruebas químicas por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	63
<b>Tabla 8-3:</b>	Análisis de la varianza en la determinación del pH del humo por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	66
<b>Tabla 9-3:</b>	Análisis de la densidad por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	67
<b>Tabla 1-6:</b>	Evaluación de los costos directos e indirectos en la producción de PVC tipo blando.....	80
<b>Tabla 2-6:</b>	Evaluación de los costos directos e indirectos en la producción de PVC tipo blando.....	81
<b>Tabla 3-6:</b>	Evaluación de los costos directos e indirectos en la producción de PVC tipo blando.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Diagrama representativo de los pasos para una polimerización en suspensión.....	9
<b>Figura 2-1:</b>	Asociación plastificante-polímero y efecto de apantallamiento de la cadena alifática del plastificante.....	15
<b>Figura 3-1:</b>	Mezcladora de aditivos para PVC.....	21
<b>Figura 4-1:</b>	Extrusora.....	22
<b>Figura 5-1:</b>	Cámara al vacío.....	22
<b>Figura 1-2:</b>	Proceso de producción del PVC.....	42
<b>Figura 2-2:</b>	Localización de la empresa productora de los distintos tipos de PVC.....	43
<b>Figura 3-2:</b>	Localización del laboratorio de curtición de la ESPOCH.....	44
<b>Figura 1-3:</b>	Prueba de determinación de cloro .....	64
<b>Figura 2-3:</b>	Prueba de determinación de nitrógeno.....	64
<b>Figura 3-3:</b>	Prueba de determinación de humo.....	65

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Resistencia a la tensión por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	58
<b>Gráfico 2-3:</b>	Resistencia a la flexión por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	60
<b>Gráfico 3-3:</b>	Lastometría por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	61
<b>Gráfico 4-3:</b>	Resistencia a la fractura por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	63
<b>Gráfico 5-3:</b>	Determinación del pH del humo por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.....	66

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Norma ASTM D882 para determinar la resistencia a la tensión y la resistencia a la flexión de las muestras de PVC.
- ANEXO B:** Norma ASTM D1004 para determinar la resistencia a la fractura utilizando el método de Charpi
- ANEXO C:** Norma NTE INEN-ISO 17076-2 para la determinación de la lastometría de diferentes materiales
- ANEXO D:** Norma ASTM D792 para la determinación de la densidad aplicada en los distintos tipos de PVC
- ANEXO E:** Recopilación fotográfica del trabajo experimental de la producción de los distintos tipos de PVC
- ANEXO F:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la resistencia a la tensión del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes
- ANEXO G:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la resistencia a la flexión del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes
- ANEXO H:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la lastometría del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes
- ANEXO I:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la resistencia a la ruptura del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes
- ANEXO J:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la presencia de iones cloro del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes
- ANEXO K:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la presencia de iones nitrógeno del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes
- ANEXO L:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar el pH del humo del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes
- ANEXO M:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la densidad del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes
- ANEXO N:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar las características del humo del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes
- ANEXO O:** Resultados de las resistencias físicas de los diferentes tratamientos evaluados en la presente investigación

**ANEXO P:** Resultados de todas las pruebas realizadas en el PVC

## **RESUMEN**

En la presente investigación se planteó evaluar el efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en las características finales del PVC. Para llevar a cabo la investigación el tamaño de muestra fue 10 unidades. El PVC fue producido en la planta Icoplast y los análisis de la calidad de las muestras fueron realizados en el laboratorio de curtiembre de la ESPOCH ambos ubicados en la ciudad de Riobamba. A continuación, se evaluó la resistencia a la tensión, flexión, lastometría y fractura de los cuales el PVC tipo corrugado obtuvo el mayor rendimiento con medias iguales a 970.33 N/cm<sup>2</sup>; 204.58%, 11.00 ciclos y 460.97 N/cm<sup>2</sup> respectivamente. Las pruebas químicas constituyeron la evaluación de la presencia de iones cloro, iones nitrógeno, características del humo, pH del humo y densidad. En las 3 primeras pruebas no hubo variación mientras que para las restantes pruebas el mejor tratamiento fue cuando el PVC corrugado con respuestas iguales a 7.85 y 1.03 g/ml respectivamente. En la relación beneficio costo el PVC corrugado fue el mejor con respuestas de 1.41. Concluyendo que se evaluó el efecto de la adición de diferentes plastificantes y su efecto en las características finales del polímero de los tres tratamientos planteados en la investigación. Se recomienda combinar los agentes plastificantes con algunos aditivos.

**Palabras Claves:** <VINILO>; <RESISTENCIAS FISICAS>; <PLASTIFICANTE>; <PVC CORRUGADO>, <TRATAMIENTO>

## **SUMMARY**

In the present investigation, the effect of the addition of different plasticizing agents on the final characteristics of PVC was evaluated. To carry out the research, the sample size was 10 units. The PVC was produced at the Icoplast plant and the quality analysis of the samples was carried out at the ESPOCH tannery laboratory, both located in the city of Riobamba. Tensile, flexural, lastometry and fracture strength were then evaluated, of which the corrugated PVC obtained the highest performance with averages equal to 970.33 N/cm<sup>2</sup>; 204.58%, 11.00 cycles and 460.97 N/cm<sup>2</sup> respectively. The chemical tests were the evaluation of the presence of chlorine ions, nitrogen ions, smoke characteristics, smoke pH and density. In the first 3 tests there was no variation while for the remaining tests the best treatment was when corrugated PVC with responses equal to 7.85 and 1.03 g/ml respectively. In the cost-benefit ratio the corrugated PVC was the best with responses of 1.41. In conclusion, the effect of the addition of different plasticizers and their effect on the final characteristics of the polymer of the three treatments proposed in the research was evaluated. It is recommended to combine plasticizing agents with some additives.

**Keywords:** <VINIL>; <PHYSICAL RESISTANCE>; <PLASTIFICANT>; <PVC CORRUGATED>; <TREATMENT>

## INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se pondrá énfasis en el PVC el cual es un termoplástico amorfo y quebradizo que se mezcla fácilmente con varios aditivos, para obtener una amplia variedad de propiedades del material. Las diversas respuestas a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, su durabilidad y su rentabilidad hacen que el PVC sea útil en aplicaciones que van desde envases hasta dispositivos sanitarios, juguetes, materiales de construcción, etc. (Carraher 1981).

Para los distintos plásticos de PVC se añade plastificantes y cuando se agrega un plastificante a un polímero, la fuerza de enlace subvalente intermolecular se debilita, la cristalinidad se reduce, el movimiento relativo entre los segmentos moleculares aumenta y se mejora la plasticidad del material. Por lo tanto, los plastificantes se utilizan principalmente para disminuir la dureza, la temperatura de ablandamiento, el módulo elástico el cual es una sustancia incorporada a un material para aumentar la flexibilidad, y distensibilidad rompiendo las fuerzas intermoleculares dentro del material y se destacan las propiedades plastificantes preferibles son una buena miscibilidad, es decir, fuertes fuerzas intermoleculares entre el plastificante y la resina polimérica, bajo costo por volumen, baja volatilidad. Un producto bien plastificado debe ser flexible en bajas temperaturas, y debe tener un alto alargamiento a la tracción. (Lindström 2004).

El impacto suavizante de los plastificantes conduce primordialmente a un procesamiento mejorado por medio de una adhesión y dispersión para aumentar su flexibilidad, elasticidad y fluidez. Aunque los plastificantes representan un grupo separado de materiales compuestos, también pueden considerarse añadir aditivos de procesamiento. No solo modifican las propiedades físicas del compuesto, sino que también pueden mejorar el procesamiento estos aditivos pueden ser pigmentos, estabilizadores y lubricantes (mexpolimeros 2020).

Como resultado de lo citado en los párrafos anteriores surge la pregunta de cual es el agente plastificante que mejor se adapta a la producción de PVC de distintos tipos; esto dependerá de las características físicas finales requeridas para los productos; además del costo de operación y de las tecnologías disponibles en el mercado. Para ello será necesario realizar a escala de laboratorio diferentes formulaciones y realizar las pruebas de la calidad final del producto lo cual permitirá generar una apreciación mejor de como varia las características de los plásticos con relación a la formulación.

## **Identificación del Problema**

El consumo de polímeros a escala mundial representa una de las actividades industriales más importante en la actualidad, ya que tienen un sin número de aplicaciones en la vida diaria y con esto la exigencia en sus características físicas y químicas son elevadas, como resultado de aquello hace que exista problemas en cuanto a costo de inversión ya que se tiene que realizar la aplicación de nuevas tecnologías o de nuevos agentes lo que infiere en el costo de producción y afecta directamente al consumidor.

En el caso de aplicar un nuevo agente químico en la producción se tiene que prestar atención al cambio que sufra el polímero en su estructura interna; además de que se tiene que considerar la afectación al ambiente que genere; ya que la producción de plásticos desde la obtención de la materia prima hasta la obtención del producto final genera una huella de carbón elevada; generando así problemas por su alta toxicidad y por el alto estándar en su aplicación.

Agregando estos problemas, el PVC debe tener una alta resistencia y ductilidad dado su uso; por lo que existen problemas relacionados con las características físicas y que tienen que ser solucionados en post la producción de este polímero en el Ecuador, con esto se puede cumplir estándares internacionales y se puede exportar el producto final, pero con esto también se tiene que mejorar la calidad de la materia prima.

## **Justificación de la Investigación**

El plástico es muy importante para las actividades diarias y los papeles que desempeñan, este es el caso del PVC (Policloruro de vinilo) que efectúa un papel importante al usarlo en tuberías.

Los estudios del ciclo de vida muestran que el PVC/vinilo es eficaz en la protección del medio ambiente, en términos de bajas emisiones de gases de efecto invernadero y conservación de recursos y energía. Debido a que es fuerte y resistente a la humedad y a la abrasión, el vinilo es ideal para revestimientos, ventanas, techos, cercas, cubiertas, revestimientos de paredes y suelos. El vinilo no se corroe como algunos materiales de construcción, no requiere pintura frecuente y puede ser limpiado con un producto de limpieza suave, ayudan a conservar la energía y el agua creando tuberías

prácticamente sin fugas que no son propensas a la corrosión y resisten el estrés ambiental. Las tasas de rotura de PVC son tan bajas como el uno por ciento de las tasas de rotura de los sistemas de metal fundido. La ausencia de acumulación en las tuberías de PVC mejora la funcionalidad y aumenta la eficiencia energética.

En el caso de los plastificantes se encuentran entre los aditivos más utilizados en la industria del plástico. También suelen ser más baratos que otros aditivos utilizados en el procesamiento de polímeros, se utilizan con mayor frecuencia en PVC, el tercer polímero más grande por volumen después del PP y PE.

En la actualidad, más del 50 por ciento de todos los plastificantes consumidos en Ecuador se utilizan en aplicaciones de PVC flexible. Le dan al PVC la flexibilidad y elasticidad necesaria para muchas aplicaciones diferentes, particularmente en la construcción (revestimiento para cables eléctricos, membranas para techos, revestimientos para pisos y paredes), en la industria del automóvil (molduras, cables, selladores para debajo de la carrocería), mueble y artículos de cuero artificial. Los plastificantes son sustancias funcionales importantes que transforman las propiedades físicas del PVC y otros polímeros creando un mundo completamente nuevo de aplicaciones flexibles y duraderas.

La aplicación de la presente investigación permitirá mejorar las condiciones de producción del PVC; con esto el consumidor y el productor se verán beneficiados; el productor aumentara la calidad del producto final con lo cual se puede aumentar el precio de venta esto aumentara el rendimiento económico y el usuario al tener productos de mayor calidad disminuirá el riesgo de que el plástico se quiebre y disminuya su tiempo de vida útil.

## **Objetivos de la Investigación**

### ***General***

Evaluar el efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en las características finales del PVC (policloruro de vinilo)

### ***Específicos***

- Determinar la influencia del agente plastificante en las características físicas del producto final.
- Seleccionar el mejor agente plastificante de acuerdo con la estabilidad del producto final.
- Calcular la relación beneficio costo de la aplicación de diferentes aditivos en la producción de PVC.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de la investigación

El PVC es uno de los materiales sintéticos más antiguos e históricos de la producción industrial. El PVC nació de forma accidental, fruto de una investigación realizada por el siglo XIX. De hecho, ha aparecido al menos dos veces durante este siglo. El primero en 1838, en las investigaciones del físico químico francés Henry Victor Regnault y el segundo en 1872, con las investigaciones del alemán Eugen Baumann.(ferromadrid 2019).

En 1913, el inventor alemán Friedrich Heinrich August Klatte obtuvo una patente sobre el PVC. Su método utilizó la polimerización de cloruro de vinilo con luz solar. El avance más significativo se produjo en Estados Unidos cuando la empresa BFGoodrich contrató al científico industrial Waldo Semon para desarrollar un sustituto sintético del cada vez más costoso caucho natural.

Sus experimentos produjeron nuevamente cloruro de polivinilo. Sin embargo, el material se vio amenazado por la recesión en la década de 1920 y bajo la amenaza de abandono, Semon concibió la idea del PVC como un revestimiento resistente al agua para tejidos. Las ventas despegaron rápidamente con una gama de productos en rápida expansión. La demanda se aceleró nuevamente durante la Segunda Guerra Mundial, cuando el PVC reemplazó rápidamente al material tradicional para aislar el cableado en los barcos militares.

En 1926, Semon intentó deshidrohalogenar el cloruro de polivinilo de alto peso molecular (PVC) en un disolvente de alto punto de ebullición para obtener un polímero insaturado que pudiera unir el caucho con los metales. Inesperadamente, obtuvo PVC flexible, un producto que era química y eléctricamente inerte. Este descubrimiento allanó el camino para la comercialización de PVC, un plástico cuya producción anual en los Estados Unidos ahora supera los 6 mil millones de libras. Se han desarrollado productos especiales de PVC para aprovechar muchas propiedades ventajosas. Los productos estructurales rígidos, desde paredes hasta tuberías, son cada vez más importantes. Se

utilizaron dos tipos principales de polímeros: 1) uno preparado por polimerización en suspensión y 2) un tipo especial preparado por polimerización coloidal y secado por pulverización. El segundo material es especialmente útil para hacer plastisol. Se han desarrollado plastificantes y estabilizadores para maximizar las propiedades útiles y no tóxicas. (Carraher 1981).

## **1.2. Marco Conceptual o Glosario**

### ***1.2.1. PVC***

El PVC, o cloruro de polivinilo, es un tipo de plástico usado en varias industrias. Es duradero, económico y resistente al calor, al agua y a los productos químicos. Los aditivos como lubricantes, estabilizadores térmicos, plastificantes, modificadores de impacto, rellenos, biocidas, supresores de humo y estabilizadores UV mejoran su durabilidad y lo realizan correcto para una variedad de aplicaciones de correcto. (Gilani 2017)

### ***1.2.2. Propiedades del PVC***

#### ***1.2.2.1. Propiedades químicas***

En su forma pura es resistente a la mayoría de los ácidos, álcalis y a hidrocarburos alifáticos y aceites, sin embargo, para descomponerlo se usan ácidos sulfúricos, nítricos y crómicos concentrados. El tetrahidrofurano y la isoforona lo disuelven, mientras que la acetona, ésteres e hidrocarburos aromáticos y clorados solo lo hinchan en diferentes proporciones. (Torres 2018).

#### ***1.2.2.2. Propiedades térmicas***

El PVC posee una venda substancialmente amorfa, dado que su espantajo de difracción de rayos X es difuso, es por ello que no presenta un oportunidad de unión, destino que generalmente reblandece entre los 75 – 90 °C y, su temperatura de transición vítrea Tg se encuentra entre 82 a 87 °C oportuno se va agregando plastificante a la formulación se abate confort temperatura, generándose una afinidad inversa ya que, entre mayor sea la aglutinamiento de este aditivo menor será la Tg presentando valores desde 66 °C al adicionar 5 phr, hasta -52 a -82 °C cuando agregamos 100 o más phr. Según estudios,

señalan que el punto de fusión considerado de un PVC acertadamente es en torno a de los 400 °C, por el contrario el transcurso realista se encuentra entre los 102 y los 230 °C. (mexpolimeros 2017)

### ***1.2.3. Propiedades mecánicas.***

Las propiedades exhibidas en el PVC revelan una gran dependencia de la natura y el clase de plastificantes utilizados en la formulación del compuesto. El PVC es un polímero con alta dureza, esto se debe a la electronegatividad de los átomos de cloro, por el contrario éstos átomos de cloro son lo suficientemente voluminosos para autonomizar las cadenas poliméricas lo cual permite un acrecentamiento en la libramiento de actividad molecular durante la plastificación debido a una arrastradera cohesión intermolecular.

Un PVC rígido, tiene una resistencia entre 500 a 750 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para un PVC flexible, los valores para la resistencia a la tensión son de 90 a 250 kg/cm<sup>2</sup> con un porcentaje de elongación de 170 a 400%. (Torres 2018).

## **1.3. Obtención del PVC**

El PVC es un polímero resultante de la polimerización por adición, del monómero de cloruro de vinilo. En esta clase de polimerización, hay diferentes tecnologías para llevarla a cabo:

- Suspensión
- Masa
- Emulsión

Hace ciertos años el PVC producido en el mercado de U.S. estaba dividido de la siguiente forma: PVC de suspensión abarcaba el 83%, PVC vía emulsión el 8%, PVC polimerizado en masa contribuía al 7% y el restante 2% era producido por polimerización en solución. (PlasticsEurope 2014)

### ***1.3.1. Polimerización en Suspensión***

La reacción de polimerización se desarrolla en un reactor equipado con una chaqueta de enfriamiento y un agitador, en donde es alimentado con agua, el monómero y un protector de coloide o agente de suspensión. El monómero es dispersado en el agua mediante agitación y la adición de un iniciador o

catalizador da principio a la polimerización radical del monómero. Una vez culminada la reacción, el monómero sin reaccionar es recuperado y el polímero conformado es llevado a un procedimiento de secado y luego guardado. El componente primordial en el proceso de polimerización en suspensión es la temperatura de reacción que está entre 50-70 °C debido a que es la ideal para el control del peso molecular.(Marinho, Horiuchi y Pires 2018).

Las ventajas de este proceso son:

- Bajos costos de medio disolvente (agua)
- Excelente transferencia de calor
- Sin problemas de recuperación de solventes
- Control de temperatura más simple
- Menor contaminación del polímero

Entre sus desventajas se hallan que se necesita grandes reactores de agitación y que las velocidades de polimerización son lentas comparativamente con las otras técnicas, además tiene como particularidad que la medida de partícula obtenido dificulta la dispersión en el plastificante y no es aconsejable su uso en la fabricación de plastisoles.(Blum y Osterloh. Rolf 1985).



**Figura 1-1:** Diagrama representativo de los pasos para una polimerización en suspensión.

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

**Tabla 1-1:** Receta para una polimerización en suspensión

Grado de Polimerización 1000 ( $K = 66$ )	
Monomero	100
Agua (desmineralizada)	120
Agente de Suspensión (PVA, etc)	0.05 - 0.10
Iniciador (Peróxidos, etc)	0.03 - 0.16
Temp. De Polimerización	57 °C
Conversión	85 - 90 %
Presión al final de la reacción	5 kg/cc
Tiempo de Polimerización	8 h

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### ***1.3.2. Polimerización en Masa***

Es el proceso más sencillo, debido a que se define en una sola etapa, además solo implica el monómero y los iniciadores (comúnmente peróxido de laurilo), no necesita la utilización de agentes de suspensión, ni dispersión. El producto obtenido es parecido al obtenido en suspensión, pero con más pureza, además su tamaño de partícula está por arriba de las 200 $\mu$ m y tiene un área bastante porosa, por lo que no se sugiere para la fabricación de plastisoles gracias a su pobre capacidad de dispersión en el plastificante. (Brooks 2010)

### ***1.3.3. Polimerización en Emulsión***

El proceso se basa en un polímero que se dispersa en agua por medio de la utilización de un agente de dispersión, emulsificador o tensoactivo, en donde se forman gotas microscópicas que se hallan estabilizadas a lo largo de toda la polimerización por estos agentes. El resultado es un polímero coloidal (látex)<sup>8</sup> de aspecto lechoso. A esta clase de polimerización además se le nombra microdispersión o microsuspensión. (todoenpolimeros 2017)

## **1.4. Tipos de aditivos**

La industria de los plásticos conoce a partir de continuamente que la obtención de productos realmente útiles sólo es viable si a la matriz polimérica se agregan ciertos aditivos. Generalmente, se consideran aditivos esos materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica, sin

perjudicar a su composición molecular. La integración de aditivos a plásticos puede alterar de manera considerable las características del material. Ejemplificando, en la situación del caucho según los aditivos que se empleen tienen la posibilidad de obtener neumáticos, suelas de zapatillas, colchones, bandas flexibles, gomas de borrar, etcétera. En la situación del PVC tienen la posibilidad de obtener tubos sólidos, botellas, recubrimientos de cables, bandas transportadoras, ropa, balones, muñecas, etcétera., todos ellos materiales con características y aspectos bastante diversos. (Beltrán y Marcilla 2012)

Los aditivos se ordenan según su funcionalidad y no relacionadas con su constitución química (tabla 2-1). Por su particular trascendencia, en este asunto trataremos los plastificantes, estabilizantes, lubricantes, modificadores de efecto, retardantes de llama, agentes espumantes, cargas y pigmentos y colorantes. (Giovanny, De y Torre 2014)

**Tabla 2-1:** Aditivos para plásticos.

Función del aditivo	Tipo de aditivo
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzantes Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costes de las formulaciones	Cargas Diluyentes y extendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos Aditivos antideslizamiento Aditivos antidesgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes Agentes de nucleación
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardantes de llama

**Fuente:** (Giovanny, De y Torre 2014)

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

La concentración de los aditivos en las formulaciones de plásticos generalmente se expresa en peso referida a 100 gramos de polímero o phr (partes por 100 de resina).

## **1.5. Plastificantes**

Conforme el Consejo de la IUPAC “un plastificante es una sustancia que se añade a un material plástico o elastómero para incrementar su flexibilidad y facilitar su transformación. Un plastificante puede minimizar la viscosidad del fundido, bajar la temperatura de transición vítrea o reducir el módulo flexible del fundido”. Esta definición pone de manifiesto las diversas funcionalidades que puede desarrollar un plastificante en un sistema polímero- plastificante.(Cipreces 2018)

A partir de la perspectiva tecnológico, la efectividad de un plastificante se frecuenta manifestar como la proporción de plastificante fundamental para conseguir un valor dado de una propiedad de interés practico; ejemplificando, la porción en que el valor de la Tg del polímero reduce al añadir el plastificante.

En varios casos, una buena efectividad es una propiedad bastante fundamental; no obstante, en otros puede ocurrir lo opuesto: por ejemplo, si el plastificante es bastante más económico que el polímero, cuanto menor sea la efectividad más grande va a ser la proporción de plastificante fundamental para conseguir un módulo o dureza dados, por lo cual los gastos de la formulación final van a ser más bajo. En formulaciones de plastisoles de PVC puede lograrse viscosidad más baja y, comúnmente, menor envejecimiento si se utilizan porciones más grandes de un plastificante de menor efectividad. Los plastificantes se emplean en concentraciones que pueden oscilar entre 40 y 180 phr.(contyquimic 2015)

## **1.6. Teorías de la plastificación**

La Teoría del volumen independiente de Sears y Darby ofrece que en medio de las moléculas de un polímero tan sólo existe volumen independiente y que suficiente volumen independiente posibilita independencia de desplazamiento. A más grande volumen independiente más grande facilidad de desplazamiento de las moléculas o piezas de estas y, por consiguiente, más grande flexibilidad y menor Tg.

Se puede lograr un incremento del volumen independiente incrementando los conjuntos terminales (introduciendo ramificaciones o reduciendo el peso molecular), o aumentando la temperatura. La adición de pequeñas moléculas de plastificante con cadenas flexibles involucra gran proporción de volumen libre. El resultado de incrementar el volumen libre de una molécula al integrar un

plastificante es una reducción de la  $T_g$ , una mayor flexibilidad, aumento de la elongación a la rotura, etcétera.

La teoría del volumen libre está extensamente divulgada, no obstante, no explica puntos básicos de la plastificación, como por qué varias sustancias son útiles como plastificantes y otras no, ni el hecho de que ciertos polímeros se plastifican con facilidad mientras tanto que otros no lo hacen. (Uribe y Medina Perilla 2009)

Moorshead desarrolló un enfoque empírico para explicar el fenómeno de la plastificación, el cual trataremos con un cierto detalle por considerarlo muy práctico y fácilmente comprensible. Hace referencia al PVC en especial y se expone el por qué este polímero podría ser plastificado tan eficazmente, por qué determinados productos químicos son apropiados como plastificantes y, lo cual es de mayor relevancia, por qué ciertas construcciones químicas en un plastificante comunican características tan interesantes. (Uribe y Medina Perilla 2009)

### ***1.6.1. Modelo de Moorshead***

Generalmente cada una de las teorías de la plastificación explica que un plastificante penetra en el centro de la masa del polímero y separa las cadenas, disminuyendo de esta forma las fuerzas de atracción entre ellas. Las moléculas de un polímero altamente reticulado se mantienen juntas por enlaces covalentes, que no permiten que el plastificante separe las cadenas entre sí. En la situación de un polímero altamente cristalino, las fuerzas de agrupación son casi tan fuertes como los enlaces covalentes, por lo cual el impacto es semejante al caso anterior.

Para lograr que el polímero y el plastificante se mezclen correctamente la fuerza cohesiva que atrae las moléculas del líquido entre sí debe ser del mismo orden que la que atrae las moléculas del polímero. Si la fuerza cohesiva en medio de las moléculas de polímero es mucho más grande que en medio de las del líquido, las cadenas del polímero se asocian entre sí preferentemente y rechazan al líquido, cuyas moléculas se asocian además entre sí para conformar gotitas, y lo mismo ocurriría en caso opuesto. (Beltrán y Marcilla 2012)

En la situación del PVC, las cadenas son casi lineales y hay bastante escasas regiones cristalinas. Los átomos de cloro, que son grandes, separan las cadenas del polímero reduciéndose de esta forma las

fuerzas de Van der Waals, causantes de la cohesión en polímeros como por ejemplo el PE. No obstante, en el PVC, hay un átomo de Cl que reemplaza a un átomo de H en átomos de C alternos.

El átomo de Cl no equilibrado da sitio al movimiento de una carga, por lo cual forma un dipolo. Las fuerzas de atracción debidas a los dipolos y, en menor proporción, las fuerzas de Van der Waals debidas al C y al H, así como las regiones cristalinas que tengan la posibilidad de existir, dan la cohesión total del polímero.

Por consiguiente, en el PVC la fuerza de cohesión dominante es la debida a la relación dipolo-dipolo. Los líquidos que posean una estructura dipolar adecuada serán los más compatibles con el PVC. Los dipolos más corrientes en los plastificantes son los grupos éster de ácidos carboxílicos o de oxiácidos inorgánicos. Otro dipolo particularmente útil e interesante es el anillo de oxirano (grupo epoxi). En la tabla se muestra la estructura de 4 plastificantes pertenecientes a las familias más comunes (ftalatos, fosfatos, adipatos y epoxi).

**Tabla 3-1:** Plastificantes más frecuentes.

Familia	Plastificante
Ftalato	DINP Diiso-nonil ftalato
Fosfato	TFF Trifenil fosfato
Adipato	DOA Diiso-octil adipato
Epoxi	Epoxiestearato de octilo

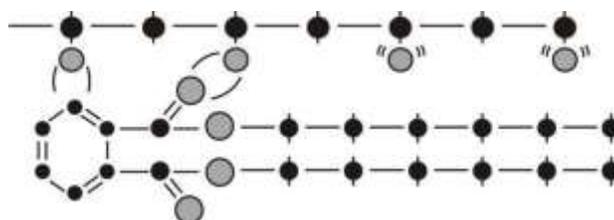
**Fuente:** (Beltrán y Marcilla 2012)

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

La composición de la molécula de plastificante en su grupo tiene un profundo impacto en las características del compuesto plastificado. Mientras tanto que los grupos polares son fundamentales para poder hacer una buena compatibilidad, lo demás de la molécula podría ser cíclica o alifática, o lo cual es más corriente, parte cíclica y parte alifática. Si el plastificante tiene conjuntos polares y polarizables (caso de los ftalatos y de los fosfatos de arilo), la resistencia a la tracción en el polímero

plastificado va a ser enorme sin embargo su flexibilidad sólo mejorará moderadamente, debido a que habrá aspectos de alta cohesión en muchas regiones de las cadenas del polímero (de forma parecido a una vez que el polímero está sin plastificar). (Cipreces 2018)

No obstante, si la molécula de plastificante tiene además grupos alifáticos no-polares y no-polarizables, dichos grupos separarán los dipolos del polímero sin meter nuevos aspectos de relación en medio de las cadenas. Los dipolos del polímero que resultan apantallados por conjuntos alifáticos del plastificante se comportan como líquidos, como se esquematiza en la figura. Las moléculas plastificadas con estos plastificantes presentan una buena flexibilidad.(Cipreces 2018)



**Figura 2-1:** Asociación plastificante-polímero y efecto de apantallamiento de la cadena alifática del plastificante.(Cipreces 2018)

**Fuente:** (Cipreces 2018)

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

## 1.7. Formulación básica del PVC

La formulación básica para la producción de compuestos de revestimiento y aislamiento de PVC para alambres y cables (CHEMCEED 2017).

1. CLORURO DE POLIVINILO
2. Plastificante
3. Relleno
4. Pigmento
5. Estabilizadores y coestabilizadores
6. Lubricantes
7. Aditivos (retardadores de llama, absorbentes de UV, etc.)

### ***1.7.1. Policloruro de vinilo***

El PVC también se obtiene por polimerización en cadena de su monómero, producido a partir de cloro (57 % en peso, fabricado por electrólisis de cloro-álcali de salmuera que produce cloro, hidróxido de sodio e hidrógeno como coproductos) y etileno (43 % en peso) a través de 1,2-dicloroetano. (Pascault, Höfer y Fuertes 2012).

El costo comercial del PVC se reduciría en enorme medida si no fuera por el producido de que esta inestabilidad se puede controlar mezclándolo con aditivos apropiados, como óxidos y carbonatos metálicos, así como sales de ácidos grasos. Estos aditivos estabilizan el PVC al ralentizar la reacción de deshidrocloración y la absorción del HCl desprendido. El PVC es un material bastante resistente y duro con amplias aplicaciones. (Pascault, Höfer y Fuertes 2012).

### ***1.7.2. Plastificantes***

Su rango de utilización se amplía significativamente por la plastificación, que convierte el PVC duro en PVC flexible. La plastificación implica mezclar PVC con plastificantes como ftalato de dioctilo, fosfato de tritolilo y aceites epoxidados. Anualmente se crean decenas de miles de millones de libras de productos de PVC divididos en partes iguales entre productos firmes y flexibles. (Zhu y Hamielec 2012).

#### ***1.7.2.1. Tipos de plastificación***

##### ***1.7.2.1.1. Plastificación interna***

Un polímero se puede plastificar internamente modificando químicamente el polímero o monómero de modo que se incremente la flexibilidad. Implica la copolimerización de los monómeros del polímero deseado (que tiene una Tg alta) y el del plastificante (que tiene una Tg baja) de modo que el plastificante sea una parte integral de la cadena del polímero. Los monómeros plastificantes internos más utilizados son:

- Acetato de vinilo
- Cloruro de vinilideno

Además, la complejidad de la reacción puede conducir a tiempos de reacción más prolongados y mayores costos. Los materiales plastificados internamente muestran dependencia de la temperatura e inestabilidad dimensional a altas temperaturas.

#### *1.7.2.1.2. Plastificación externa*

Este es el método de plastificación más comúnmente utilizado porque los plastificantes líquidos de bajo costo le dan a la formuladora libertad para desarrollar formulaciones para una variedad de productos (desde semirrígidos hasta altamente flexibles, según la cantidad). Los plastificantes externos más utilizados incluyen ésteres formados por la reacción de ácidos o anhídridos de ácido con alcoholes. Hay dos grupos principales de plastificantes externos.

Un plastificante primario mejora el alargamiento, la suavidad y la flexibilidad del polímero. Son altamente compatibles con los polímeros y se pueden agregar en grandes cantidades. Por ejemplo: hasta el 50% de los guantes de vinilo están hechos de plastificantes, que hacen que el PVC sea lo suficientemente flexible y suave para usar. (SpecialChem 2018).

Los ésteres de ftalato son los plastificantes más usualmente usados. Hay diversos tipos en esta familia, con el más común que es el tipo ramificado de ftalatos con un óptimo equilibrio entre costo y funcionamiento. Dichos integran ftalato de dioctilo (DOP), ftalato de diisooctilo (DIOP) y ftalato de diisononilo (DINP). Éstos se aplican habitualmente como plastificantes de PVC flexible y plastisol. (todoenpolimeros 2017).

Un plastificante secundario es uno que normalmente no se puede usar como plastificante único en un polímero plastificado. Los plastificantes secundarios pueden tener una compatibilidad limitada con el polímero y / o una alta volatilidad. Pueden contener o no grupos funcionales que les permitan solvatar el polímero a las temperaturas de procesamiento. (todoenpolimeros 2017).

#### *1.7.3. Relleno*

Los rellenos se usan en formulaciones de alambres y cables para minimizar el costo del compuesto y mejorar las características eléctricas o físicas. Los rellenos tienen la posibilidad de dañar de manera positiva la transferencia de calor y la conductividad térmica. El carbonato de calcio es el relleno más común para este objetivo. Algunas veces además se aplican sílices. (Chemced 2016).

#### ***1.7.4. Pigmentos***

Las familias de pigmentos se clasifican principalmente en:

- **Pigmentos orgánicos:** Se refieren a una amplia gama de familias químicas y cubren un amplio espectro de propiedades. Se utilizan principalmente para aplicaciones que necesitan una alta fuerza de coloración y tonos brillantes, mientras que los pigmentos inorgánicos son principalmente útiles donde se necesita una alta opacidad.
  
- **Pigmentos inorgánicos:** Se sabe que los pigmentos inorgánicos son:
  - Fácil dispersión
  - Estable al calor
  - Resistente a la luz
  - Resistente a la intemperie
  - Opaco
  - Insoluble, evitando tendencias migratorias

Algunos de los pigmentos inorgánicos, particularmente aquellos que contienen iones capaces de más de un estado de oxidación (por ejemplo, Pb, Hg, Cr, Cu, Fe), se oscurecen con la exposición. La degradación térmica generalmente se manifiesta también como un oscurecimiento. Los pigmentos inorgánicos no son sensibles al cizallamiento y ofrecen un buen valor de uso.

- Negro carbón
- Pigmentos blancos
- Pigmentos de efectos especiales
- Pigmentos de aluminio y
- Otros pigmentos

### ***1.7.5. Estabilizadores o coestabilizadores***

Se añaden estabilizadores al PVC para permitir su procesamiento y mejorar su resistencia, en especial en aplicaciones al aire libre, a la intemperie y al envejecimiento por calor, y poseen una predominación fundamental en las características físicas de los artículos terminados de PVC.

Factores como la tecnología de proceso involucrada, los requisitos técnicos del producto final de PVC, los requisitos reglamentarios y el costo, influyen en la elección del estabilizador utilizado.

Son estabilizadores y lubricantes a base de metales dirigidas a la transformación del PVC, con amplia aplicación en sistemas de ventana extruidos, ofreciendo resultados comparables a los que aporta el plomo o los combinados de plomo, cadmio y bario.(Interempresas 1995)

### ***1.7.6. Lubricantes***

Una buena elección de los lubricantes usados en la fórmula disminuye el roce del tornillo y de la propia masa, evitando así una subida de temperatura por fricción y la consecuente degradación del polímero de PVC. (Betaquímica 2015)

Además del impacto directo de la fórmula, los lubricantes aportan otros efectos positivos como acabados brillantes, áreas lisas y facilitan la dispersión de cargas y pigmentos.(Betaquímica 2015)

Ajuste la lubricación de su proceso con nuestros lubricantes internos, para reducir la viscosidad y la fricción interna de la masa, y lubricantes externos, con efecto antiadherente, retraso de la plastificación y evitando la rotura del fundido.(Betaquímica 2015)

### ***1.7.7. Aditivos***

Dichos aditivos opcionales no son estrictamente necesarios para la totalidad del plástico, sin embargo se usan para aprovechar otras características.(BPF 2006).

Los aditivos se aplican para impartir características especiales requeridas para la utilización final del producto, ejemplificando, retardo de llama o resistencia a la intemperie por el sol o por microbios. Los aditivos como el trióxido de antimonio (ATO) son retardadores de llama eficaces. Los plastificantes usados como ésteres fosfóricos (es decir, TBP, TOF) además tienen la posibilidad de impartir características retardantes de llama. Se agregan biocidas para defender los compuestos de PVC de la degradación por hongos y microorganismos. (CHEMCEED 2017).

## **1.8. Operaciones unitarias para la producción del PVC**

### ***1.8.1. Agitación y mezclado***

La agitación y mezclado es un proceso mecánico muy utilizado en el laboratorio y en las empresas industriales para facilitar los procesos de obtención de múltiples productos que se fabrican en las mismas. Si el fluido es único se trata entonces de una agitación propiamente dicha, de lo contrario, es decir, si son dos o más componentes lo llamaremos mezclado. Para sistemas muy viscosos tenemos el caso particular del amasado. (Brito 2001)



**Figura 3-1: Mezcladora de aditivos para PVC**

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### ***1.8.2. Extrusión y moldeo***

La extrusión consiste en usar una boquilla o extrusor con una forma determinada y así formar objetos con una sección transversal determinada. Para que funcione, como puedes comprender, el material debe ser lo suficiente dúctil y maleable como para pasar a través de ese extrusor.

El moldeo por extrusión se puede hacer según diversos modelos o tipos. La clave está en la manera en la que el material empleado fluye por medio de una boquilla o extrusor colocado en el cabezal de la máquina de extrusión. Hablando extrusor es más duro que el propio material que se está procurando y tiene la manera ya determinada que se desea lograr (circular, estrella, plana, etcétera.).(Tecnoblog 2019)



**Figura 4-1: Extrusora**

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### ***1.8.3. Cámara al vacío***

Contenedor estanco al gas y resistente a la presión, evacuado por una bomba de vacío, que tiene gas residual a baja presión. Como gas residual, tienen la posibilidad de hallarse restos de aire, debidos a una inevitable tasa de fugas, o además gases introducidos por válvulas dosificadoras, de propiedades bastante desiguales. Asimismo, varias sustancias que se encuentran en estado líquido en condiciones atmosféricas típicos tienen la posibilidad de volverse gaseosas a presiones bastante reducidas.(diener 2014).



**Figura 5-1: Cámara al vacío**

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

#### ***1.8.4. Cortadora***

La ACK 420 es una máquina diseñada para el corte recto o con ángulo de perfiles de PVC y aluminio de tamaño grande mediante una sierra de  $\varnothing$  420 mm. (YILMAZ 2016)

- Función de mando a dos manos
- Inglete con movimiento para obtener más capacidad de corte
- Velocidad ajustable de la subida de la sierra
- Cubierta de seguridad con apertura manual
- Iluminación LED en el interior de la cabina

### **1.9. Tipos de PVC**

#### ***1.9.1. PVC flexible***

El PVC transparente flexible es un termoplástico bastante usado en la zona industrial gracias a sus amplias propiedades. Flexibilidad, extensa duración y facilidad en el momento de trabajarse, son varias de las características más destacadas.

En cuanto a su uso y aplicaciones, son variados los sectores industriales y de construcción que utilizan este material, además tienen muy buena aceptación en la fabricación de calzado, empaquetadura para refrigeradores y ventanas, baldosas para pisos, productos espumados, juguetes, mangueras, películas plásticas, entre otros (mwmaterialsworld 2016)

**Tabla 4-1:** Composición de PVC flexible

<b>Materiales</b>	<b>Phr (partes por 100 de resina)</b>	<b>Significado</b>
Resina PVC k67	100	La resina se presenta en su forma original como un polvo blanco, amorfo y opaco. Resulta que esta polimerización de la K67 por suspensión es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles.
Epoxan 2486S	5	El aceite de soja epoxidado (ESBO ) es una colección de compuestos orgánicos obtenidos de la epoxidación del aceite de soja . Se utiliza como plastificante y estabilizador en plásticos de cloruro de polivinilo (PVC). ESBO es un líquido viscoso amarillento.
Plastilón 406 DOP	40	Di 2 Etil Hexil Ftalato es un plastificante que posee la mejor combinación de las características físicas más deseadas en un plastificante, tales como: baja volatilidad, baja solubilidad en agua y baja temperatura de gelificación junto a un elevado poder solvente, elevada estabilidad térmica, elevada resistencia a la hidrólisis y a los rayos ultravioleta. (Requimec 2016)
Ácido Esteárico	3	Es un producto de origen animal que consiste en la mezcla de los ácidos grasos sólidos y de las materias grasas. Mega Plásticos comercializa el ácido esteárico según su necesidad, en la solución y concentración de su proyecto. (Mega Plásticos 2013)
Anestab 763BC	5	Los estabilizadores de Ba-Cd se pueden utilizar como una alternativa para los compuestos de metales pesados nocivos, Muestran una excelente resistencia al calor y transparencia, y son aplicables a una amplia gama de productos. (adeka 2017)

Fuente: (Icoplast 2018)

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### 1.9.2. PVC corrugado

La tubería de PVC corrugada es un producto hecho de polímeros. El propio cloruro de polivinilo, del que se fabrica el corrugado, rápidamente se hizo popular debido a sus innegables ventajas y bajo precio esta tubería doble pared con sello elastomérico es usado para alcantarillado sanitario, pluvial y combinado.

Posee un diseño corrugado liviano que permite hacer curvas sin necesidad de calentar o usar accesorios. Puede llegar a cajas eléctricas ubicadas en cualquier parte de la pared y puede además acoplarse directamente en la campana de la tubería lisa milimétrica. (Icoplast 2018)

Sus ventajas son un alto rendimiento lubricante, resistencia al impacto, rigidez del anillo, buena naturaleza de desmoldeo y excelente plasticidad a baja temperatura.

**Tabla 5-1:** Composición de PVC corrugado

<b>Materiales</b>	<b>Phr (partes por 100 de resina)</b>	<b>Significado</b>
Resina PVC k67	100	Esta resina es uno de los polímeros termoplásticos más producidos en el mundo después del polietileno y el polipropileno. Su uso más común es en la industria de la construcción, pero también se utiliza para la fabricación de rótulos, en aplicaciones sanitarias y como fibra para la confección.(thechemco 2021)
Estearato de plomo	0,45	El estearato de plomo podría ser extensamente usado para Productos de extrusión e inyección de PVC, en especial correcto para alambres y cables que hacen que los productos tengan un excelente rendimiento eléctrico; Este producto podría ser de excelente lubricidad, buen estabilizador de luz y calor en el estabilizador térmico Compuesto de sal de plomo; Este producto se puede usar primordialmente

		diversos productos de PVC opacos y firmes, Como por ejemplo tubos firmes, hojas rígidas, láminas, cintas, cables y productos de cuero artificial, etcétera.
ftalato de diisooctilo (DIOP)	30	Es un plastificante de alta estabilidad, soluble en la mayor parte de los solventes orgánicos, cetonas, alcoholes, hidrocarburos alifáticos y aromáticos. Es compatible con la mayor parte de resinas sintéticas polímeros y copolímeros vinílicos, ésteres y ésteres celulósicos, cauchos naturales. (Requimec 2016)
Estereato de bario	1,55	Usado como agente de limpieza y lubricante, se usa también como plastificante y estabilizante de polivinilo y en la industria cosmética; generalmente para este fin se utiliza en combinación con otros estearatos metálicos. (Cosmos 2018)
Ácido esteárico	0,45	Es un compuesto color blanco, inoloro y con propiedades tensoactivas o emulsificantes que permite que dos sustancias insolubles puedan mezclarse en cierta medida, es muy apreciado en la industria farmacéutica, alimenticia e incluso industrial , como lubricante. (conjuntomolar 2018)
Parafina microcristalina	0,38	La cera de microcristalina es un producto resultado de la mezcla compleja hidrocarburos, entre los que encontramos a las parafinas y otros compuestos monocíclicos y policíclicos Son idóneas para cualquier aplicación que precise capacidad de aislamiento a la humedad y flexibilidad como el sector textil, fabricación de cerillas, injertos en agricultura, recubrimiento de velas y plásticos. (Repsol 2017)
Cera de polivinilo	0,6	Es el complemento perfecto para la cera desmoldante, debido a que crea una cinta fina, flexible y antiadherente entre el molde y las reproducciones o partes, evitando que queden

		pegadas y que tus trabajos se echen a perder.(nazza.es 2017)
Polietileno clorado	6,1	Se utiliza ampliamente para mangueras, tubos, cables, esponjas, productos mecánicos, productos moldeados y en formulaciones diseñadas para aceptar mayor carga y plastificante.(Cloripene 2013)
Acronitrilo reforzado	2	Es un termoplástico amorfo que es duro y rígido; resistencia química aceptable; baja absorción de agua, por lo tanto buena estabilidad dimensional; alta resistencia a la abrasión; se recubre con una capa metálica con facilidad.
Acronitrilo	0,31	El acrilonitrilo es un líquido sintético incoloro, con un intenso olor a cebolla o a ajo. El acrilonitrilo se utiliza primordialmente para hacer plásticos, fibras acrílicas y caucho sintético. Ya que el acrilonitrilo se evapora velozmente, es bastante posible que esté en el aire cerca de las plantas químicas donde se genera.(astdr 2017)

Fuente: (Icoplast 2018)

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### 1.9.3. PVC duro

Las tuberías de conducción por gas permanecen en constante evolución. Durante los años hemos ido viendo una enorme optimización en la utilización de materiales para la conducción de gas. De las tuberías de hierro fundido hemos pasado a otros materiales como el abesto, el PVC u otros materiales plásticos. (Icoplast 2018).

**Tabla 6-1:** Composición de PVC duro

<b>Materiales</b>	<b>Phr (partes por 100 de resina)</b>	<b>Significado</b>
Resina PVC K67	100	La resina se presenta en su forma original como un polvo blanco, amorfo y opaco. Resulta que esta polimerización de la K67

		<p>por suspensión es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles.</p>
Sulfato de plomo tribásico	6	<p>Se usa primordialmente como seguridad térmica para productos de PVC de opacidad o translucidez. Excelente resistencia al calor y características de aislamiento eléctrico, en especial conveniente para procesos de alta temperatura. Usado primordialmente para el moldeo por inyección de productos de PVC duro de opacidad o translucidez. (YANGYUAN CHEMICAL 2016)</p>
Plastilon DOM	40	<p>Es un plastificante de alta seguridad, soluble en la mayor parte de los solventes orgánicos. Es compatible con la mayor parte de resinas sintéticas, polímeros y copolímeros vinílicos. (Requimec 2016)</p>
Estearato de plomo	1	<p>El estearato de plomo podría ser extensamente usado para Productos de extrusión e inyección de PVC, en especial correcto para alambres y cables que hacen que los productos tengan un excelente rendimiento eléctrico; Este producto podría ser de excelente lubricidad, buen estabilizador de luz y calor en el estabilizador térmico Compuesto de sal de plomo; Este producto se puede usar primordialmente diversos productos de PVC opacos y sólidos, Como por ejemplo tubos sólidos, hojas rígidas, láminas,</p>

		cintas, cables y productos de cuero artificial, etcétera.
monoestearato de glicerilo	0,4	<p>El Monoestearato de Glicerilo, además conocido como cera emulsionante número 3, es un Emulsionante no-iónico del tipo O/W con un enorme poder estabilizante en toda clase de preparaciones. Conforme con la porción utilizada, sirve para ofrecer consistencia a una amplia gama de productos cosméticos como ungüentos, cremas o lociones. El Monoestearato de glicerilo puede hallarse en el mercado en 2 maneras:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo A) Cera Autoemulsionante (este es el que trabajamos) y no necesita ayuda de otros Co-emulsionantes.</li> <li>• Tipo B) Co-Emulsioante (no emulsiona por si solo), agente espesante o dispersante en la industria alimentaria.</li> </ul>
alcohol graso y éster de ácido graso	0,7	Se utiliza en la preparación de productos farmacéuticos, cosméticos, colorantes, tintas y ésteres bencílicos. Sirve también como disolvente de lacas, plastificante en algunos casos. (ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. 2019)

**Fuente:** (Icoplast 2018).

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Hipótesis y especificación de las variables

##### 2.1.1. *Hipótesis general*

- Los plastificantes resultan ser el componente fundamental en la calidad final que tiene el PVC, por lo que se espera que la flexibilidad de nuestro PVC sea proporcional a la cantidad de plastificante usada.

##### 2.1.2. *Hipótesis específicas*

- La cantidad adicionada del monómero y el tipo de plastificante son necesarios para determinar la calidad final del producto.
- El tipo y la cantidad de plastificante adicionado en la formulación del polímero determina si el PVC es rígido o blando.
- El cambio de las características entre los distintos tipos de PVC se ve afectada por la formulación que se emplea.
- La relación entre los indicadores económicos de costo beneficio es proporcional a la inclusión de nuevos agentes en los procesos productivos de PVC.

**Tabla 1-2:** Hipótesis y especificación de las variables

<b>Hipótesis General</b>	<b>Hipótesis Específicos</b>	<b>Proceso</b>	<b>Variables dependientes</b>	<b>Variables independientes</b>
Los plastificantes resultan ser el componente fundamental en la calidad final que tiene el PVC, por lo que se espera que la flexibilidad de nuestro PVC sea proporcional a la cantidad de plastificante usada.	La cantidad adicionada del monómero y el tipo de plastificante son necesarios para determinar la calidad final del producto.	Extrusión, inyección, moldeo Evaluación de las características físicas y químicas del PVC	Resistencias físicas del PVC Características químicas del PVC	Tipo de plastificante
	El tipo y la cantidad de plastificante adicionado en la formulación del polímero determina si el PVC es rígido o blando.	Extrusión, inyección, moldeo Determinación de la densidad	Densidad	Tipo de plastificante
	El cambio de las características entre los distintos tipos de PVC se ve afectada por la formulación que se emplea.	Extrusión, inyección y moldeo Evaluación de las características físicas	Resistencia a la tracción Porcentaje de elongación	Tipo de plastificantes

	<p>La relación entre los indicadores económicos de costo beneficio es proporcional a la inclusión de nuevos agentes en los procesos productivos de PVC.</p>	<p>Extrusión, inyección y moldeo.</p> <p>Determinación de la relación beneficio-costos</p>	<p>Costos de producción y precio de venta del PVC</p>	<p>Tipo de plastificantes</p>
--	---	--	---	-------------------------------

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

## 2.2. Operacionalización de las variables

**Tabla 2-2:** Operacionalización para la obtención del PVC

Categoría	Concepto	Dimensiones	Variables	Indicadores	Índice
Efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en las características finales del PVC (policloruro de vinilo)	PVC obtenido a partir de un proceso de extrusión, inyección y moldeo y con el producto final revisar las características finales.	Obtención del PVC a partir del proceso de extrusión, inyección y moldeo	Cantidad de resina Medida del molde	Peso, kg cm	
		Utilización de distintos agentes plastificantes	Cantidad de plastificante	Peso, kg	
		Evaluación de las características finales de cada tipo de PVC	Elongación Lastometría Resistencia a la fractura	% N N/cm <sup>2</sup>	
		Realización de pruebas físicas y químicas correspondientes	Solubilidad Elongacion Lastometria Prueba de pH	% N Ph	
		Validación de los resultados correspondientes.	Pruebas estadísticas ejemplo media y probabilidad.	Unidades	

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### 2.3. Matriz de consistencia

Tabla 3-2: Matriz de consistencia aspectos generales

<b>ASPECTOS GENERALES</b>		
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>HIPÓTESIS</b>
Pregunta general ¿Cómo se determina la relación entre los tipos de plastificantes y las características finales del PVC?	Evaluar el efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en las características finales del PVC (policloruro de vinilo)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Los plastificantes resultan ser el componente fundamental en la calidad final que tiene el PVC, por lo que se espera que la flexibilidad de nuestro PVC sea proporcional a la cantidad de plastificante usada.</li></ul>

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

**Tabla 4-2:** Matriz de consistencia aspectos específicos

<b>ASPECTOS ESPECIFICOS</b>				
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>TECNICA</b>
¿Cuál será la afectación de las resistencias físicas del polímero al cambiar la formulación?	Determinar la influencia del agente plastificante en las características físicas del producto final	La cantidad adicionada del monómero y el tipo de plastificante son necesarios para determinar la calidad final del producto.	Cantidad de muestra Cantidad de plastificante	Proceso de extrusión, inyección y moldeo, empleando cantidades de resina y plastificantes
¿Cuál será la diferencia en la estabilidad del polímero al variar el agente plastificante?	Seleccionar el mejor agente plastificante de acuerdo con la estabilidad del producto final.	El tipo y la cantidad de plastificante adicionado en la formulación del polímero determina si el PVC es rígido o blando.	Cantidad de plastificante	Prueba de lastometría, elongación, y resistencia a la fractura para observar la característica física final. Pruebas químicas de Ph, solubilidad, entre otras
¿Cómo debe ser la formulación del PVC para mejorar sus características?	Establecer la formulación óptima para maximizar las características del policloruro de vinilo (PVC)	El cambio de las características entre los distintos tipos de PVC se ve afectada por la formulación que se emplea.	Cantidad de muestra o resina Cantidad de plastificante	Determinación de la masa de resina, plastificantes, estabilizador y aditivos.

¿Qué tratamiento lograra maximizar las ganancias en la producción de PVC?	Calcular la relación beneficio costo de la aplicación de diferentes niveles de agentes plastificantes en la producción de PVC.	La relación entre los indicadores económicos de costo beneficio es proporcional a la inclusión de nuevos agentes en los procesos productivos de PVC.	Relación beneficio-costo Tipo de PVC	Calculo de los costos directos o indirectos de producción

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

## **2.4. Tipo y Diseño de Investigación**

### ***2.4.1. Método inductivo***

El método que utilizamos es inductivo ya que se partió del precepto que al añadir distintos aditivos se afectaría la calidad final del PVC después se buscó en bibliografía para determinar las variables y la parte metodológica de la investigación, recopilada esta información se procedió a obtener los distintos tratamientos para evaluar su calidad y su composición. Con la ayuda de los datos y de técnicas estadísticas se comprobó las hipótesis planteadas en la investigación. Por lo que, de acuerdo con lo que indica el método inductivo se partió de un concepto general y se obtuvo premisas específicas.

### ***2.4.2. Unidad de Análisis***

Constituirá una porción del lote del PVC producido en la fábrica, ya que en esta se analizará sus características y los efectos al probar los agentes propuestos en la investigación

### ***2.4.3. Población de estudio***

La población de estudio constituirá 5 kilogramos de PVC blando, 5 de PVC corrugado y 5 de PVC duro producido en la planta. Estos valores fueron considerados de acuerdo con la producción total de 15Kg en toda nuestra materia prima

### ***2.4.4. Tamaño de muestra***

De acuerdo con la cantidad de PVC blando, PVC corrugado y PVC blando que se producen mensualmente en la industria, para el cálculo del tamaño de la muestra se utiliza: un nivel de confianza  $1 - \alpha$ , donde  $\alpha$  es el nivel de significación que queremos, generalmente es 5 % o 1 % (0,05 o 0,01).

Lo que realmente significa es que, si extraemos un número determinado de muestras del mismo tamaño de una población con un parámetro de valor constante, el 95 % de los intervalos de confianza construidos a partir de esas muestras contendrán el valor del parámetro que buscamos y el 5 % restante no lo contendrá, además se utiliza el valor de error máximo del 5 % en términos estadísticos, mediante

la siguiente fórmula se determina el tamaño de muestra:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot P \cdot g}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot g} \quad \text{Ec. 1 - 2}$$

Tipo de muestreo: aleatorio simple

N= número de población = 15 unidades

1-  $\alpha$ = Nivel de confianza = 95 %

Z= 1,96

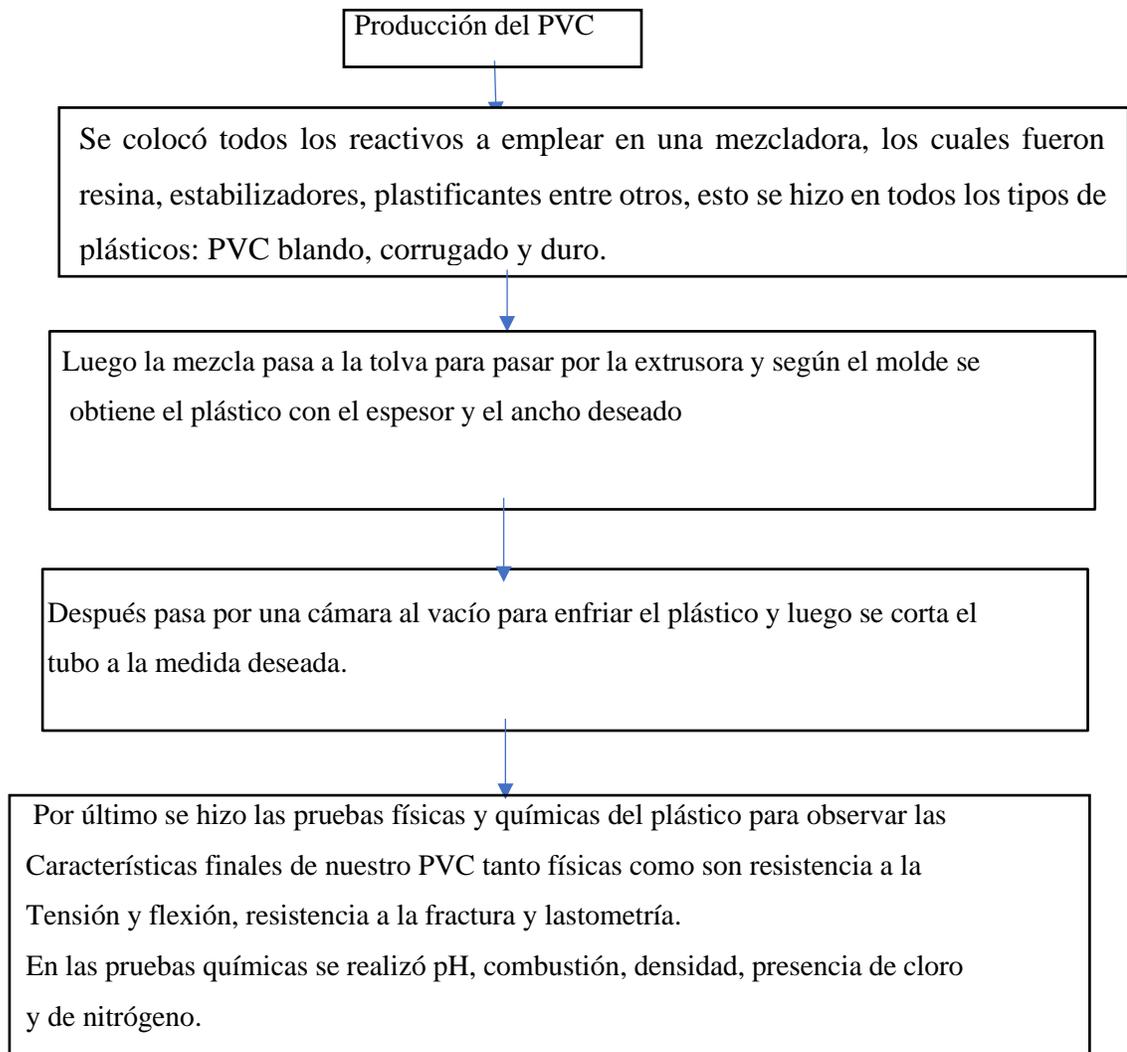
p= probabilidad de éxito = 50 %

g= probabilidad de fracaso = 50 %

e= error = 5 %

$$n = \frac{15 \cdot (1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{0,005^2 \cdot (200 - 1) + 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}$$

$$n = 10$$



**Figura 1-2:** Proceso de producción del PVC

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

#### **2.4.5. Selección de muestra**

La recolección de las muestras se hizo en base a la técnica de muestreo aleatorio simple; la cual considera poner números aleatorios a los lotes de producción y en base a una tabla generada por el software excel se indica los números que se seleccionaran en relación a los lotes asegurándose así la representatividad de las muestras y al homogeneizar las mismas se reduce el error generado por el nuestro. En la tabla 3 se indica el horario de recolección de las muestras que se ajustó al horario de producción de la planta y que se realizó in situ.

El PVC es un material muy estable y que casi no se ve afectado por los factores ambientales por lo que el almacenamiento de las muestras seleccionadas se realizará a condiciones ambientales. Cada muestra contara con su respectiva etiqueta de acuerdo al día, hora y lugar de sección.

#### **2.4.6. Localización del trabajo de titulación.**

El presente trabajo de titulación se llevó a cabo en la empresa Icoplast calles Jerusalem y Avenida Simon Bolivar encontrada en el norte de la Ciudad de Riobamba.



**Figura 2-2:** Localización de la empresa productora de los distintos tipos de PVC

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

Las pruebas de la materia prima se llevaron a cabo en el laboratorio de Análítica de la facultad de Ciencias De la Escuela Superior politécnica del Chimborazo de la ciudad de Riobamba cuyas coordenadas son 78°40 '20'' que se encuentra ubicada en la panamericana Sur Km 1 ½ via a una altura de 2815msnm.



**Figura 3-2:** Localización del laboratorio de curtición de la ESPOCH

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

#### ***2.4.7. Técnicas de Recolección de datos***

A continuación, se va a describir el proceso de laboratorio para la obtención del plástico de PVC con distintos tipos de plastificantes y con esto realizar pruebas de las características finales.

**2.4.8. Formulación de distintos tipos de PVC y su preparación**

**Tabla 5-2:** Formulación para PVC blando

<b>Principio</b>	<b>Materiales y equipos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>
Realizar plástico de PVC Blando mediante el uso de equipos y aditivos correspondientes	Mezcladora Tolva Cámara del Vacío Cortadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 phr de Resina PVC K67</li> <li>• 5phr de Epoxan 2486S</li> <li>• 40 phr de Plastilon DOP (Di 2 Etil Hexil Ftalato)</li> <li>• 3 phr de ácido esteárico</li> <li>• 5 phr de Anestab 763BC</li> </ul>	<p>Se coloca en un mezclador todos los aditivos a emplear, luego estos se colocan en una tolva donde posteriormente pasará a una extrusora que mediante el molde dará el grosor del plástico y el diámetro circular.</p> <p>Luego pasara por una cámara de vacío donde se enfriará el PVC y una cortadora de plásticos por último que dará el largo del tubo.</p>

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

**Tabla 6-2:** Formulación para PVC corrugado

<b>Principio</b>	<b>Materiales y equipos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>
Realizar plástico de PVC corrugado mediante el uso de equipos y aditivos correspondientes	Mezcladora Tolva Cámara del Vacío Cortadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 phr de Resina PVC K67</li> <li>• 0,45 phr Estereato de plomo</li> <li>• 30 phr ftalato de diisooctilo</li> <li>• 1,55 phr de estereato de bario</li> <li>• 0,45 phr de ácido esteárico</li> <li>• 0,38 phr de parafina microcristalina</li> <li>• 0,6 phr de cera de polivinilo</li> <li>• 6,1 phr de polietileno clorado</li> <li>• 2 phr de acronitrilo reforzado</li> <li>• 0,31 phr de acronitrilo</li> </ul>	<p>Se coloca en un mezclador todos los aditivos a emplear, luego estos se colocan en una tolva donde posteriormente pasara a una extrusora que mediante el molde dará el grosor del plástico y el diámetro circular.</p> <p>Luego pasara por una cámara de vacío donde se enfriara el PVC y una cortadora de plásticos por último que dará el largo del tubo.</p>

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

**Tabla 7-2:** Formulación para PVC duro

<b>Principio</b>	<b>Materiales y equipos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>
Realizar plástico de PVC duro mediante el uso de equipos y aditivos correspondientes	Mezcladora Tolva Cámara del Vacío Cortadora	<ul style="list-style-type: none"><li>• 100 phr de Resina PVC K67</li><li>• 6 phr de sulfato de plomo tribásico</li><li>• 40 phr de Plastilon DOM ((Dioctil Ftalato)</li><li>• 1 phr estearato de plomo</li><li>• 0,4 phr monoestearato de glicerilo</li><li>• 0,7 de alcohol graso y éster de ácido graso</li></ul>	Se coloca en un mezclador todos los aditivos a emplear, luego estos se colocan en una tolva donde posteriormente pasara a una extrusora que mediante el molde dará el grosor del plástico y el diámetro circular. Luego pasara por una cámara de vacío donde se enfriara el PVC y una cortadora de plásticos por último que dará el largo del tubo.

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

### 2.4.9. Determinación de resistencia a la tensión y flexión

**Tabla 8-2:** Técnica de Determinación de resistencia a la tensión y flexión según la norma ASTM D882

Principio	Materiales y Equipos	Reactivo	Procedimiento	Fórmula para cálculos
<p>Este método de ensayo cubre la determinación de la tensión propiedades de los plásticos en forma de láminas delgadas y películas, se basa generalmente en el uso de la separación de agarre como medida de extensión.</p>	<p>Equipo universal para pruebas físicas</p>		<p>Realizar el plástico a la medida de una probeta de 2,54cm de ancho y 10cm de largo.</p> <p>Luego prensar la muestra en el equipo y observar la distancia inicial</p> <p>Después prender la máquina, ver la distancia de estiramiento y la fuerza que emplea.</p> <p>Sacar la muestra luego que se haya trisado en un costado.</p>	<p>La Resistencia a la tracción se calculará dividiendo la carga máxima por el área de sección transversal mínima original de la muestra. El resultado se expresará en fuerza por unidad de área (N), dando el valor del esfuerzo máximo.</p> $R_t = \frac{C_{max}}{A_t}$ <p>El porcentaje de elongación es igual a la deformación de el medidor sobre la medida inicial de la probeta esto multiplicado por 100%.</p> $\%Elong = \frac{C_{max}}{A_t}$

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

**2.4.10. Determinación de resistencia a la abrasión**

**Tabla 9-2:** Técnica de Determinación de resistencia a la abrasión según la norma NTE INEN-ISO 17067-2

<b>Principio</b>	<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivo</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para cálculos</b>
El procedimiento se basa en el método descrito en la Norma ISO 12947-4, que se ha modificado para utilizar una placa de bolas bajo la probeta para poder simular mejor el uso diario	Equipo Martindale	.....	La muestra se pone en el equipo haciendo un molde circular de unos 6cm, ajustando al equipo de Martindale sacando respuesta sobre la presión que ejerce sobre la muestra este equipo	Se halla el cálculo de la lastometría que consiste en ejercer una presión hasta que no es lo suficientemente elástica para acomodarse a la nueva situación se quiebra y se agrieta

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

### 2.4.11. Determinación de resistencia a la fractura

**Tabla 10-2:** Técnica para la evaluación de la resistencia a la fractura de acuerdo con el método de Charpi indicado en la norma ASTM

Principio	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Fórmula para calculo
<p>Este método cubre el procedimiento para evaluar la resistencia a la fractura calculando los parámetros esfuerzo y cambio de distancia. La fuerza necesaria para el rendimiento es calculada en función al tiempo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo de fuerza Charpi</li> <li>• Pinzas de desplazamiento</li> <li>• Transductores de carga</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primero es necesario construir las probetas de acuerdo con las dimensiones establecidas en la norma; esto es 8 cm de largo; 1 cm de alto y 0.7 cm de espesor. Además, es necesario realizar un agujero en la mitad de un espesor máximo de 0.2 cm</li> <li>• A continuación, cada una de las probetas es introducida en el equipo de Fuerza de Charpi; para lo cual se sujeta de las pinzas que existe en el extremo de este.</li> <li>• Una vez sujeta la muestra se coloca el péndulo en la parte superior del equipo y se deja caer en dirección de la muestra.</li> <li>• El ensayo culmina cuando la pieza se ha roto y la computadora del equipo registra el tiempo de carga y la fuerza del martillo.</li> <li>• En el caso de la presente investigación las muestras de PVC eran muy elásticas por lo cual la maquina no pudo registrar la ruptura del material, para solucionar esto se realizó el cálculo de la resistencia a la ruptura y se empleó la fórmula que se indica en el anexo 2; y que hace</li> </ul>	$Resistencia\ a\ la\ fractura = \int_{x_i}^{x_f} F(x)$ <p>Donde:</p> <p><math>x_i</math>: Distancia Inicial, cm</p> <p><math>x_f</math>: Distancia final, cm</p> <p>F(x): Esfuerzo en relación con el área, N/cm<sup>2</sup>.</p> <p><math>((15,848*1,8^5)-</math>  <math>(229,24*Presion^4)+(1313,4*Presion^3)-</math>  <math>(3724,8*Presion^2)+(5229,5*Presion)-</math>  <math>1901,5)/100</math></p>

			referencia que se debe calcular el área bajo la curva de la gráfica que compara el esfuerzo y la elongación de las muestras.	
--	--	--	--	--

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

### 2.4.12. Determinación de densidad

**Tabla 11-2:** Técnica para la evaluación de la densidad de los polímeros indicado en la norma ASTM D 792-07

Principio	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Fórmula para calculo
<p>Este método cubre el procedimiento para evaluar la densidad de plásticos en estado sólido y que se encuentran en forma de hojas, manguera, rodillos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Tubo de ensayo</li> <li>• Vasos de precipitación</li> <li>• Gradilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Cloruro de calcio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primero es necesario medir la temperatura del agua</li> <li>• Medir la masa de la muestra, tratando que el peso no sea superior a 1 g.</li> <li>• A continuación, llenar el vaso de precipitación con agua y dejar caer la muestra pesada en el volumen de agua y revisar si flota o no la misma. Asegurarse que no exista gotas de agua para evitar resultados falsos.</li> <li>• Si la muestra se sumerge en el agua, se debe adicionar al agua cloruro de calcio; conociendo la concentración de la solución se puede calcular la densidad de la muestra.</li> </ul>	$Sp = \frac{a}{a + w - b}$ <p>Donde:</p> <p>a: Masa medida del espécimen, g</p> <p>b: Masa medida cuando la muestra está totalmente sumergida, g</p> <p>w: Masa medida cuando la muestra está totalmente sumergida en la solución de cloruro de calcio, g.</p>

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### 2.4.13. Determinación del pH

**Tabla 12-2:** Técnica para la evaluación del pH del humo del PVC ISO 182-2: 1990

Principio	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Fórmula para calculo
<p>Este método especifica la determinación de la estabilidad térmica a temperaturas elevadas de los productos y compuestos a base de homopolímeros y copolímeros de cloruro de vinilo (PVC en lo sucesivo), sometidos a una deshidrocloración (desprendimiento de cloruro de hidrógeno).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiras de pH</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•Primero se realiza muestras de agua que contengan PVC</li> <li>•Luego cada muestra es expuesta al calor</li> <li>•El humo que desprende cada muestra es empleado para encontrar el pH</li> <li>•El pH lo hallamos usando las tiras de pH para cada muestra</li> </ul>	<p>El pH es una escala que generalmente se usa para describir la neutralidad o falta de neutralidad de un artículo doméstico. En el ámbito científico, el pH es la medida de los iones dentro de una solución. Si asistes a una clase de ciencia o de química, es posible que tengas que calcular el pH con base en la concentración.</p> <p>Calcula el pH usando la ecuación del pH: <math>\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]</math>.</p>

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

#### 2.4.14. Determinación del cloro

**Tabla 13-2:** Técnica para la evaluación del cloro con NTE INEN-ISO 7393-1

<b>Principio</b>	<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Fórmula para calculo</b>
Es un método volumétrico para la determinación de cloro libre y de cloro total en aguas que contengan el ion, las aguas pueden estar contaminadas por plásticos o residuos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo de ensayo</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Pera de succión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{HNO}_3</math></li> <li>• <math>\text{AgNO}_3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primero se realiza una muestra que contenga agua y la muestra de PVC requerida.</li> <li>• Esta solución es mezclada con <math>\text{HNO}_3</math> y unas gotas de <math>\text{AgNO}_3</math></li> <li>• Luego se observara la presencia de un precipitado blanco que mostrara la presencia del ion cloro</li> </ul>	No existe fórmula para la determinación del ion cloro este se presente en forma de ácido hipocloroso, de ión hipoclorito o en forma de cloro elemental disuelto, observando un color blanco del precipitado en el PVC.

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### 2.4.15. Determinación del nitrógeno

**Tabla 14-2:** Técnica para la evaluación del nitrógeno con ASTM D2863

Principio	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Fórmula para calculo
<p>Es un método para determinar la concentración mínima de de oxígeno / nitrógeno en una muestra de plástico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo de ensayo</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Pera de succión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FeSO<sub>4</sub></li> <li>• H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Primero se realiza una muestra que contenga agua y la muestra de PVC requerida.</li> <li>•Esta solución es mezclada con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y FeSO<sub>4</sub></li> <li>•Luego se observara la presencia de ningún precipitado que mostrara que no hay la presencia del ion nitrogeno</li> </ul>	<p>El índice de nitrógeno, se calcula a partir de las concentraciones finales de nitrógeno probadas. Los resultados de la prueba se relacionan únicamente con el comportamiento de las muestras de prueba bajo las condiciones de este método de prueba y los resultados muestran precipitado en presencia del nitrógeno, y no muestra precipitado si no hay presencia de este</p>

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

#### 2.4.16. Técnicas para el análisis estadístico de los datos

**Tabla 12-2:** Esquema del ANOVA

<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Varianza</b>	<b>Valor de Fisher</b>	<b>Probabilidad</b>
Suma de cuadrados totales	Grados de libertad totales	Varianza Total	---	---
Suma de cuadrados por repetición	Grados de libertad por repetición	Varianza de las repeticiones	---	---
Suma de cuadrados por ensayo	Grados de libertad por ensayos	Varianza de los ensayos	---	---

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

**Tabla 13-2:** Esquema del experimento utilizado para la determinación de las variables de proceso.

<b>Tipo de plastificantes</b>	<b>T.U. E</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>plastificante/tratamiento</b>
Plastilon DOP (Di 2 Etil Hexil Ftalato)	1	6	1
Plastilon DIOP (ftalato de diisooctilo)	1	6	1
Plastilon DOM ((Dioctil Ftalato)	1	6	1

T.U.E: Tamaño de la unidad experimental

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

Para determinar la significación de los datos se tiene que especificar el adeva de los datos, lo que se muestra en la tabla 14-2.

**Tabla 14-2:** Esquema del adeva utilizado para la determinación de la significancia de las variables.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total	17
Factor A	2

Error	15
-------	----

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Resultados del formulación

**Tabla 1-3:** Formulación de los tipos de PVC

PVC blando	PVC corrugado	PVC duro
<ul style="list-style-type: none"><li>• 100 phr de Resina PVC K67</li><li>• 5phr de Epoxan 2486S</li><li>• 40 phr de Plastilon DOP (Di 2 Etil Hexil Ftalato)</li><li>• 3 phr de ácido esteárico</li><li>• 5 phr de Anestab 763BC</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 100 phr de Resina PVC K67</li><li>• 0,45 phr Estereato de plomo</li><li>• 30 phr ftalato de diisooctilo</li><li>• 1,55 phr de estereato de bario</li><li>• 0,45 phr de ácido esteárico</li><li>• 0,38 phr de parafina microcristalina</li><li>• 0,6 phr de cera de polivinilo</li><li>• 6,1 phr de polietileno clorado</li><li>• 2 phr de acronitrilo reforzado</li><li>• 0,31 phr de acronitrilo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 100 phr de Resina PVC K67</li><li>• 6 phr de sulfato de plomo tribásico</li><li>• 40 phr de Plastilon DOM ((Diocil Ftalato)</li><li>• 1 phr estearato de plomo</li><li>• 0,4 phr monoestearato de glicerilo</li><li>• 0,7 de alcohol graso y éster de ácido graso</li></ul>

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### 3.2. Resultados de las pruebas físicas

**Tabla 2-3:** Resumen del análisis de la varianza de las resistencias físicas por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo

Resumen						
Prueba	Tratamiento			E.E.	Prob	Var
	PVC Blando	PVC corrugado	PVC duro			
Resistencia a la tensión, N/cm <sup>2</sup>	2758.58	888.95	1427.15	1.17	<0,0001	1.01
Resistencia a la flexión, %	107.58	173.36	86.73	0.59	<0,0001	2.40
Resistencia a la abrasión, ciclos	1.46	11.00	11.17	0.31	<0,0001	1.18
Resistencia a la ruptura, N/cm <sup>2</sup>	44.88	443.97	206.90	0.75	<0,0001	2.16

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

E.E: Error Experimental.

Prob: Probabilidad.

Var: Varianza

#### 3.2.1. Resistencia a la tensión, N/cm<sup>2</sup>

En la evaluación de los resultados obtenidos a la resistencia a la tensión al comparar distintos tipos de plastificante en la elaboración de polivinilo de cloruro se reportaron diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre medias. Los resultados más altos se reportaron cuando se analizó las muestras del PVC tipo blando (T2) con medias iguales a  $2758.58 \pm 1.01$  N/cm<sup>2</sup>; mismos que disminuyeron hasta alcanzar valores iguales a  $1427.15 \pm 2.15$  N/cm<sup>2</sup> al estudiar las muestras del T3 (PVC tipo duro).

Continuando con el análisis se reportaron las medias cuando se evaluó las muestras de PVC tipo corrugado (T1) obteniendo medias iguales a  $888.95 \pm 3.75$  N/cm<sup>2</sup> como se muestra en el gráfico 1-3 y se reporta en la tabla 1-3. Al comparar estos resultados se puede interpretar que el tipo y la cantidad de plastificante determinara la resistencia final del plástico y por eso se puede ver la diferencia que existe entre las tres muestras; ya que se siguió el mismo procedimiento para la obtención de los distintos tipos de plásticos.

**Tabla 3-3:** Análisis de la varianza de la resistencia a la tensión por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11115779	2	5557889	674796.1	<0.0001
Error	123.55	15	8.24		
Total	11115902	17			

Var	Plástico tipo Blando	Plástico tipo corrugado	Plástico tipo Duro
	±2.89	T1: ±3.75	T1: ±2.15

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

SC: Suma de cuadrados

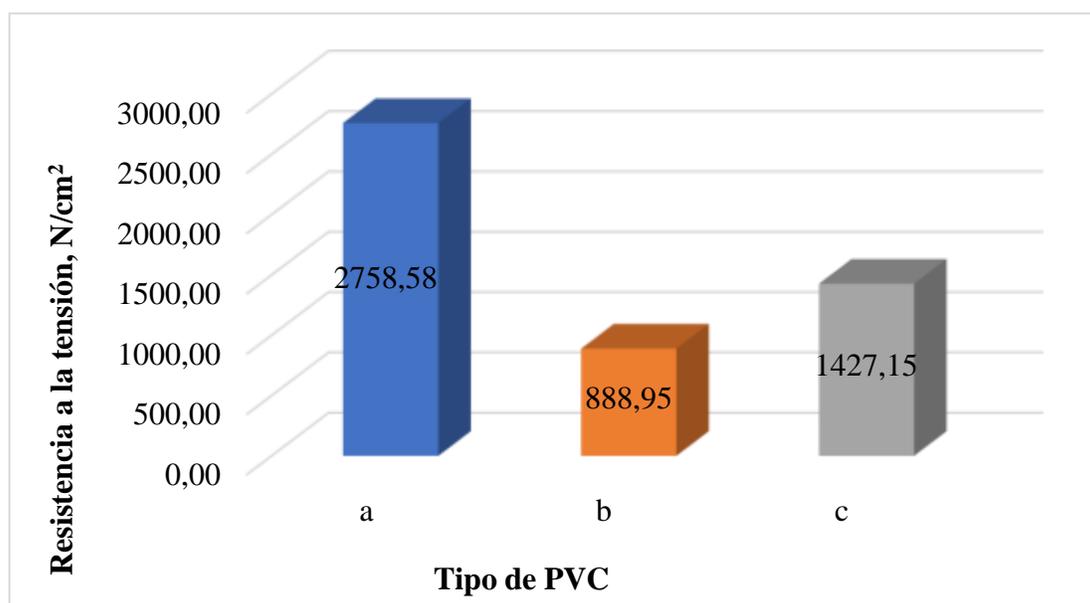
gl: Grados de libertad.

CM: Cuadrado medio.

F: Índice de Fisher.

p-valor: Valor de probabilidad.

Var: Varianza



**Gráfico 1-3:** Resistencia a la tensión por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### 3.2.2. Resistencia a la flexión, %.

En la evaluación de la resistencia a la flexión que se realizó de acuerdo con el método universal para las resistencias físicas en la evaluación del efecto de diferentes tipos de plastificantes en la elaboración de PVC; las medias reportaron diferencias altamente significativas entre medias ( $P < 0.01$ ). En el análisis numérico de los resultados las respuestas más elevadas se obtuvieron al analizar las muestras de PVC tipo corrugado (T2) con medias iguales a  $173.36\% \pm 2.40$ .

Estos resultados disminuyeron cuando se evaluó las muestras de PVC tipo blando con medias iguales a  $107.58\% \pm 1.01$  y las respuestas más bajas se reportaron cuando se examinó las muestras de PVC tipo duro con valores iguales a  $86.73\% \pm 1.79$  como se reporta en el gráfico 3-3 y se indica en la tabla 3-3; con lo cual se puede establecer la relación que existe entre el tipo de plastificante añadido en el PVC y sus características físicas finales.

**Tabla 4-3:** Análisis de la varianza de la resistencia a la flexión por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	24531.54	2	12265.77	5960.69	<0.0001
Error	30.87	15	2.06		
Total	24562.41	17			

<b>Var</b>	<b>Plástico tipo Blando</b>	<b>Plástico tipo corrugado</b>	<b>Plástico tipo Duro</b>
	$\pm 1,01$	T1: $\pm 2,39$	T1: $\pm 1,72$

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

**SC:** Suma de cuadrados

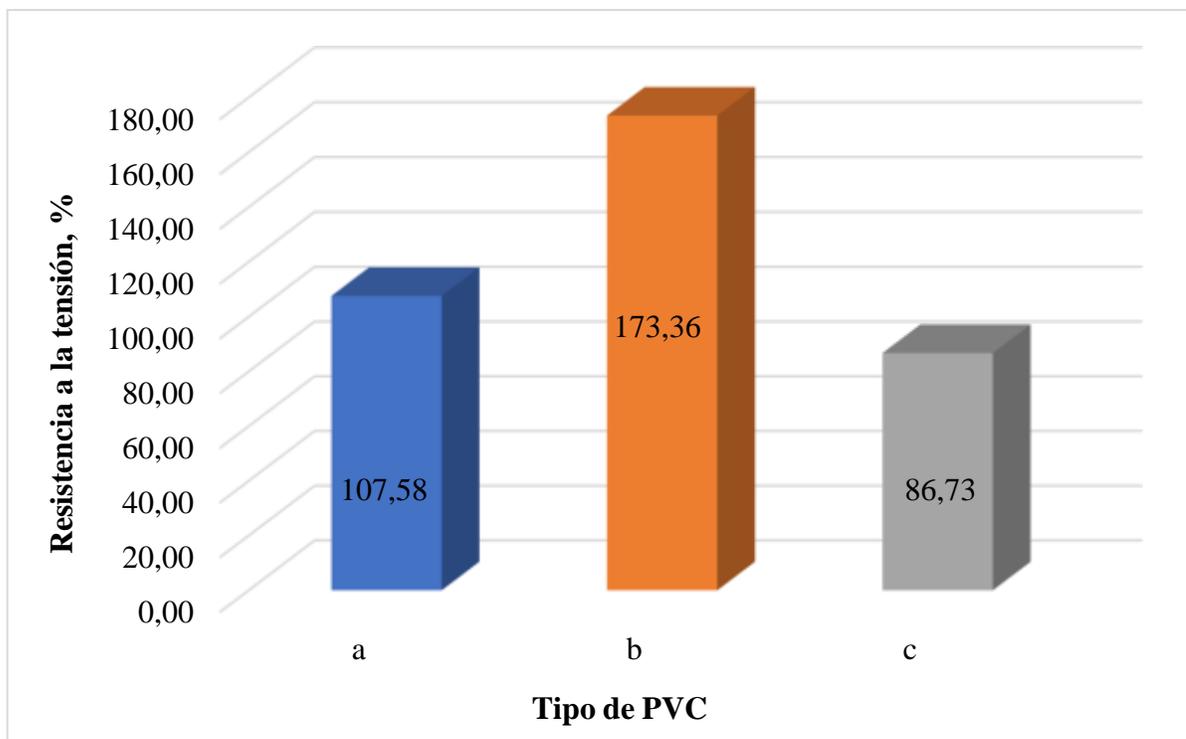
**gl:** Grados de libertad.

**CM:** Cuadrado medio.

**F:** Índice de Fisher.

**p-valor:** Valor de probabilidad.

**Var:** Varianza



**Gráfico 2-3:** Resistencia a la flexión por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.

Realizado por: Camacho, Gabriela. 2021.

### 3.2.3. Lastometría, ciclos

En el análisis de la prueba física lastometría de los plásticos elaborados con diferentes tipos de plastificantes bajo el mismo proceso de producción; las medias reportaron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ). De acuerdo con el análisis numérico de los datos las respuestas más altas se encontraron al evaluar el PVC tipo duro (T3) con medias iguales a  $11.17 \pm 0.15$  ciclos.

Estos resultados disminuyeron hasta alcanzar valores iguales a  $11.0 \pm 1.18$  ciclos cuando se evaluó las medias del tratamiento T3 (PVC tipo duro) y los resultados más bajos se reportaron cuando se evaluó las medias del tratamiento T1 (PVC tipo suave) con medias iguales a  $1.46 \pm 0.07$  ciclos como se muestra en el gráfico 5-3 y que muestra la relación que existe entre la lastometría del plástico y los aditivos adicionados en su elaboración.

**Tabla 5-3:** Análisis de la varianza de la lastometría por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	370.58	2	185.29	329.78	<0.0001
Error	8.43	15	0.56		
Total	379.01	17			

Var	Plástico tipo Blando	Plástico tipo corrugado	Plástico tipo Duro
	±1.18	T1: ±0.07	T1: ±0.15

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

**SC:** Suma de cuadrados

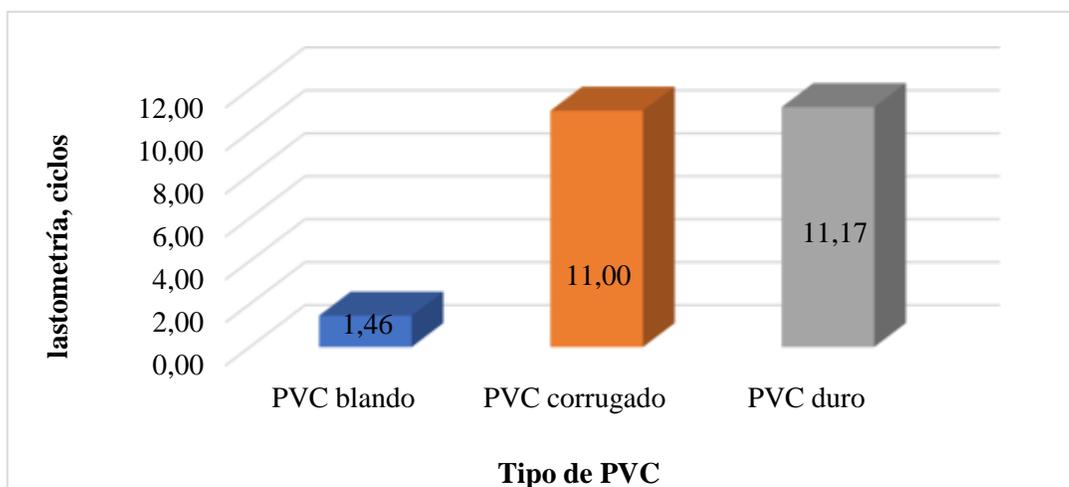
**gl:** Grados de libertad.

**CM:** Cuadrado medio.

**F:** Índice de Fisher.

**p-valor:** Valor de probabilidad.

**Var:** Varianza



**Gráfico 3-3:** Lastometría por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.

**Realizado por:** CAMACHO, Gabriela. 2021.

### 3.2.4. Resistencia a la fractura

La resistencia a la fractura se evaluó de manera teórica de acuerdo con lo reportado en la *sección 2.4.11* y las medias reportaron diferencias altamente significativas entre medias ( $P < 0.01^*$ ) cuando se

evaluó la interacción de los diferentes tipos de plastificantes como se indica en la tabla 3-3. Evaluando los resultados numéricos se obtuvo el máximo valor al evaluar las muestras en el tratamiento T2 (PVC corrugado) con medias iguales a  $443.97 \pm 2.73$  N/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 6-3:** Análisis de la varianza de la resistencia a la fractura por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.59E+09	2	7.96E+08	1266000	<0.0001
Error	9427.61	15	628.51		
Total	1.59E+09	17			

Var	Plástico tipo Blando	Plástico tipo corrugado	Plástico tipo Duro
	$\pm 2.73$	T1: $\pm 2.73$	T1: $\pm 3.47$

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

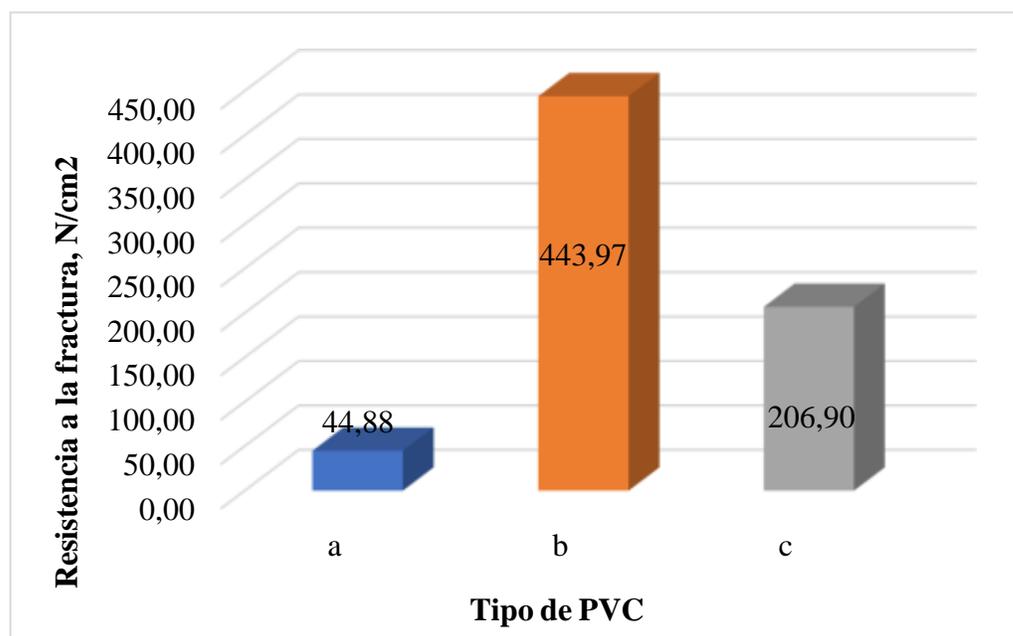
**SC:** Suma de cuadrados

**gl:** Grados de libertad.

**CM:** Cuadrado medio.

**F:** Índice de Fisher.

**p-valor:** Valor de probabilidad.



**Gráfico 4-3:** Resistencia a la fractura por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021

### 3.3. Pruebas Químicas

**Tabla 7-3:** Resumen del análisis de la varianza de las pruebas químicas por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo

Prueba	Tratamiento			E. E	Prob	Sign
	PVC blando	PVC corrugado	PVC duro			
pH del humo	6.38	7.85	10.18	0.2	<0.0001	**
Densidad	2.15	1.03	1.06	0.02	<0.0001	**
Determinación de cloro	Presencia	Presencia	Presencia			
Determinación de nitrógeno	No presencia	No presencia	No presencia			
Apariencia del humo	Presencia	Presencia	Presencia			

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

**SC:** Suma de cuadrados

**gl:** Grados de libertad.

**CM:** Cuadrado medio.

**F:** Índice de Fisher.

**p-valor:** Valor de probabilidad.

#### 3.3.1. Determinación de Cloro

En el análisis a la prueba química del contenido de cloro en el PVC elaborado con muestras de todos los tratamientos (PVC duro, PVC corrugado y PVC blando) reportaron respuestas positivas a la presente prueba, reportando un blanquesino en los tubos



**Figura 1-3:** Prueba de determinación de cloro para todos los tipos de PVC

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

### 3.3.2. *Determinación de Nitrógeno*

En la evaluación del contenido de nitrógeno se probó la presencia o no del ion nitrógeno en la estructura del polímero. En el análisis químico no se reportó la presencia del ion nitrógeno presentando un color transparente en los tubos.



**Figura 2-3:** Prueba de determinación de nitrógeno para todos los tipos de PVC

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

### 3.3.3. *Determinación de las características a la llama*

#### 3.3.3.1. *Apariencia del humo*

En la determinación de la característica del humo que sirve de prueba rápida para evaluar la composición del polímero; se analizó si el mismo presenta o no combustión al exponer el polímero a la llama, se aprecia que los tres tratamientos (PVC blando, PVC corrugado y PVC duro) se combustionaron al ser expuestos a la llama lo que es una característica normal del PVC y se observan cenizas como resultado.



**Figura 3-3:** Prueba de apariencia de humo para todos los tipos de PVC

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

### 3.3.3.2. pH del humo

Otro de los factores estudiados en el análisis químico fue el pH del humo después de que se combustionaron las muestras. De acuerdo con el análisis de los tratamientos elaborados con distintos agentes plastificantes para la presente prueba se reportaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $P < 0.01^*$ ) entre medias. En el análisis numérico las muestras que reportaron pH mayor fueron las del T3 (PVC duro) con respuestas iguales a 10.18.

**Tabla 8-3:** Análisis de la varianza en la determinación del pH del humo por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	43.98	2	21.99	88.85	<0.0001
Tratamiento	43.98	2	21.99	88.85	<0.0001
Error	3.71	15	0.25		
Total	47.69	17			

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

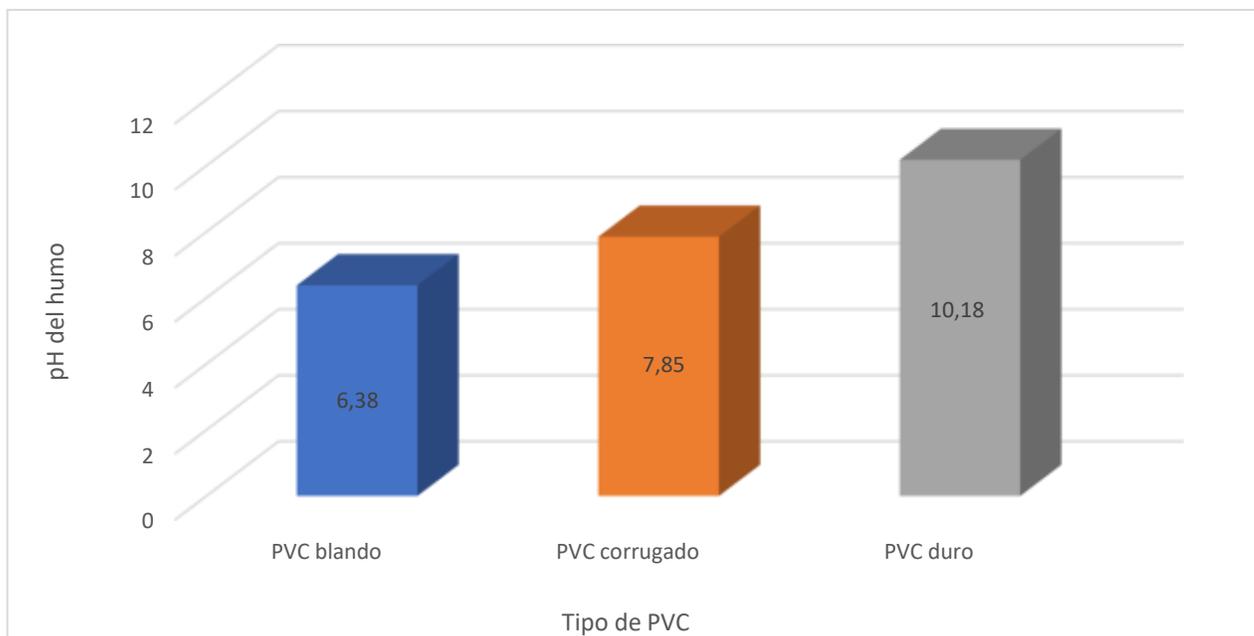
**SC:** Suma de cuadrados

**gl:** Grados de libertad.

**CM:** Cuadrado medio.

**F:** Índice de Fisher.

**p-valor:** Valor de probabilidad



**Gráfico 5-3:** Determinación del pH del humo por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

### 3.3.4. Densidad

De acuerdo con el método complejo para la evaluación de las características químicas fue necesario estudiar la densidad de las muestras y la influencia del agente plastificante en la producción del PVC; se reportaron diferencias estadísticas altamente significantes ( $P < 0.01$ ). En el análisis de los resultados las medias en el tratamiento T2 (PVC corrugado) fueron las que reportaron una densidad menor con medias iguales a 1.03 g/ml.

**Tabla 9-3:** Análisis de la densidad por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo

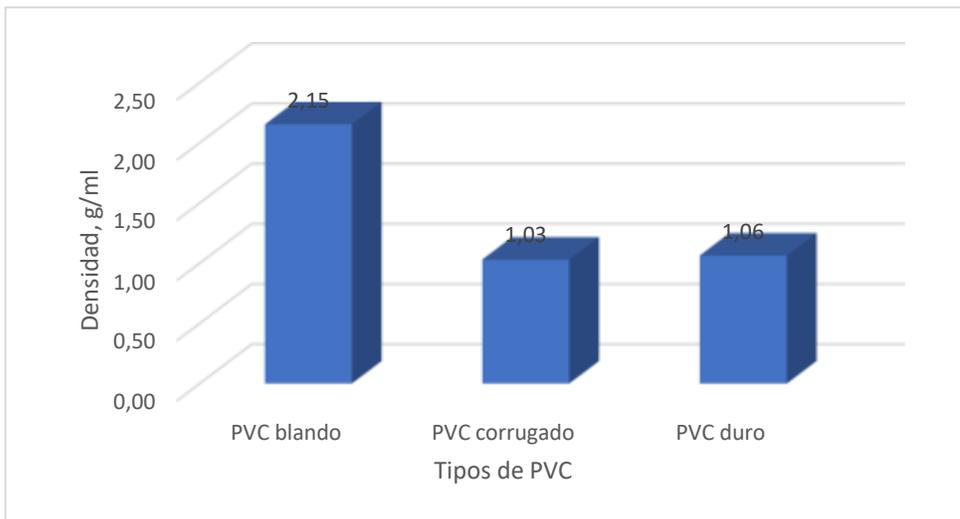
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.25	2	3.13	1037.16	<0.0001
Tratamiento	6.25	2	3.13	1037.16	<0.0001
Error	0.05	15	3.00E-03		
Total	6.3	17			

**Realizado por:** Camacho, Gabriela. 2021.

**SC:** Suma de cuadrados

**gl:** Grados de libertad.

**CM:** Cuadrado medio.  
**F:** Índice de Fisher.  
**p-valor:** Valor de probabilidad



**Gráfico 6-3:** Determinación de la densidad del humo por efecto de la adición de diferentes agentes plastificantes en la elaboración de policloruro de vinilo.

**Realizado por:** CAMACHO, Gabriela. 2021

### 3.4. Discusión

Para la discusión de los resultados al igual que en el análisis de los resultados se evaluó las resistencias físicas en un único apartado y las pruebas químicas en otro apartado; esto dado la relación que existe entre las distintas pruebas físicas y como cada una de las pruebas afectan a la otra.

En el análisis de los resultados en las pruebas físicas se determinó que el PVC de tipo corrugado presente mayor resistencia a la flexión con medias iguales a  $173.36 \pm 2.40\%$  y mejores resultados a la prueba resistencia a la ruptura con resultados iguales a  $443.97 \pm 2.72 \text{ N/cm}^2$ ; en tanto que el PVC de tipo duro presento mayor lastometría con medias iguales a  $11.17 \pm 0.072$  ciclos y el PVC de tipo blando reporto mejores respuestas a la resistencia a la tensión con respuestas iguales a  $2758.58 \pm 3.04 \text{ N/cm}^2$ .

Con estos resultados se puede afirmar lo que dice el autor (Marinho, Horiuchi y Pires 2018), la flexión influye directamente en la resistencia a la ruptura de los materiales; esto dado que al momento en que se inflinge fuerza sobre la estructura del material las partículas de este son capaces de ubicarse en otros puntos aumentando así la fuerza que puede resistir la estructura del polímero y haciendo que la fuerza se distribuya sobre el plano de la estructura y evite la fractura de este.

Además de que la flexión de los polímeros es dada por la menor densidad en la estructura del mismo que evita que se colapse bajo efectos de factores externos dando así resultados mejores para la resistencia a la flexión y que se correlaciona directamente con la prueba resistencia a la ruptura que es un parámetro clave para determinar la calidad del polímero y su aplicación en especial para el PVC que es utilizado en tuberías o en instalaciones industriales y que por efecto de los procesos son sometidos a grandes esfuerzos. (Zhu y Hamielec 2012).

Caso contrario ocurre con la resistencia a la tensión que mide la dureza del material; este es un factor que determina la aplicación de los materiales y de acuerdo con las características que se requiera, pero por lo general para materiales de construcción o de aplicaciones industriales se requiere estructuras no muy rígidas para evitar el colapso de la estructura y con esto fallos estructurales en las instalaciones industriales. (Zhu y Hamielec 2012).

Una vez analizado los resultados y como se da la influencia de las pruebas mecánicas entre si es necesario evaluar el rol que juega el tipo de plastificante al determinar la estructura del polímero.

Como se puede evaluar de acuerdo con las diferencias estadísticas entre las distintas pruebas se determina la influencia directa del plastificante en las características finales del producto; ya que es el único factor que se cambió en la obtención de los distintos tipos de PVC y que es la base de la presente investigación.

De acuerdo con (CHEMCEED 2017), el cloruro de polivinilo (PVC) se caracteriza por ser una molécula de largo peso molecular que a condiciones normales un gran número de compuestos orgánicos no tienen efecto en su estructura. Por lo general cuando se aplica una fuerza externa que afecte su estructura interna la estructura colapsa donde se presentan los enlaces cloro – hidrocarburo y algunos esteres; lo cual es consecuencia de ser un material rígido y que necesite aditivos para estabilizar la estructura interna.

(CHEMCEED 2017), indica que la adición de agente plastificante evita que se dé la interacción entre las cadenas cloro – hidrocarburo y esto hace que se mantengan alejadas aumentando así el área interna del material y aumentando la capacidad de resistir fuerzas externas sin que la estructura colapse.

Con lo que menciona el autor (Marinho, Horiuchi y Pires 2018) se puede afirmar que el plastificante añadido en el PVC tipo corrugado es el que mejor efecto plastificador produce, esto quiere decir que las moléculas del plastificante actúan como coraza para reducir la interacción entre las moléculas de PVC disminuyendo la fuerza de interacción y evitando la formación de una estructura rígida. Esto ayuda a reducir la temperatura de vitrificación del PVC y permite a las cadenas del polímero moverse rápidamente; lo que da como resultado el incremento de la flexibilidad, elongación y la blandura.

Ademas de lo mencionado en los parrafos anteriores se evidencia como la estructura química de los distintos plastificantes juegan un roll determinante en las características finales del polimero; esto se da por lo que explica el autor (CHEMCEED 2017), y es consecuencia del fenomeno de volumen libre, que es expresado por la capacidad de rotacion de las moleculas en la estructura interna del polimero y que si se reduce este espacio el material tiende a ser rigido y duro; por lo cual en el PVC de tipo rigido y de tipo blando se tendra que evaluar el cambiar de agente plastificante o caso contrario este tipo de plastico va a determinar deficiencias si se somete a esfuerzos considerables y que afectaran al tiempo de vida util en las distintas aplicaciones.

Para establecer las diferencias existentes entre los tipos de plastificantes es necesario conocer su estructura química es así que el Di 2 Etil Hexil Ftalato (DOP) que es el plastificante adicionado para la elaboración de PVC blando; según el autor (Cipreces 2018) este plastificante está compuesto por anillos aromáticos que estabilizan el compuesto y al estar junto a los iones oxígeno esto hace que reduzca la carga electrónica; lo que al momento de entrar en contacto con las cadenas alcano-cloro no va a ser muy reactivo ya que se encuentra en su estado estable generando así que no muchas moléculas queden enlazadas y no se reduzca la dureza en la estructura interna; esto ocasiona que no se tengan buenas características finales del PVC.

En comparación en la elaboración de PVC corrugado se utilizó el plastificante llamado ftalato de diisooctilo (DIOP); según el autor (Rivaflex 2018), este plastificante en su estructura interna el anillo aromático no está aledaño al oxígeno con lo cual no se logra estabilizar el compuesto y lo hace reactivo en la presencia de sustancias con alta densidad electrónica; en el caso de los enlaces hidrocarburo-cloro la diferencia de densidades hace que se generen cationes necesitados de electrones para estabilizarse y al entrar en contacto con los electrones libres del oxígeno en el plastificante generara que mayor número de moléculas reaccionen y disminuyan la cantidad de enlaces covalentes que hacen rígida la estructura del polímero, es por esta razón que el plastificante DIOP estabiliza mejor el PVC y genera así mejorar sus características físicas.

Adicional en el tratamiento T3 (PVC duro); se utilizó el plastificante llamado dioctil ftalato (DOM); de acuerdo al autor (Marinho, Horiuchi y Pires 2018) que indica que el plastificante en su estructura interna esta compuestas por largas cadenas de hidrocarburos lo que ocasiona que la reactividad sea reducida y que no sean solubles en compuestos orgánicos lo que ocasiona que disminuya la reactividad al entrar en contacto con el PVC permitiendo que no se realice de manera óptima la plastificación, como resultado de esto se disminuye la resistencia física; es por ello que se obtienen los peores resultados al analizar estas muestras.

Al comparar los resultados de la investigación con los que reporta (Pannico, 2010) quien al estudiar nuevos tipos de PVC caracterizados por la sustentabilidad y reducir la migración del plastificante obtuvo resultados iguales a  $630 \text{ N/cm}^2$  para la resistencia a la ruptura, medias iguales a 289% para la resistencia a la flexión y  $9800 \text{ N/cm}^2$  para la resistencia a la tensión. Además de comparar las respuestas con las que reporta (Laurent, 2010) quien estudio el efecto de la adición de niveles bajos de plastificante en la producción de cloruro de polivinilo y que obtuvo medias iguales a  $300 \text{ N/cm}^2$  para

la resistencia a la tensión 580 N/cm<sup>2</sup> para la resistencia a la ruptura y 74% a la resistencia a la flexión cuando añadio el 1.5 de plastificante DOP (Di-n-octilftalato).

Ademas se comparo los resultados con los reportados por (Kamira, 2014) que al estudiar el efecto de la adición de DEPH (di-(-2-etil hexil) phthalato) reporto medias iguales a 650 N/cm<sup>2</sup> para la resistencia a la tensión; 220% para la resistencia a la flexión y 2000 N/cm<sup>2</sup> para la resistencia a la fracción al añadir 50% de DEPH y con los resultados expuestos por (De Grutyer, 2017) que al estudiar el efecto de añadir distintos plastificantes en la matriz para la produccion de PVC reporto medias iguales a 1200 N/cm<sup>2</sup> para la resistencia a la tension, 157% para la resistencia a la flexión y 1450 N/cm<sup>2</sup> para la resistencia a la ruptura.

Comparando las diferentes investigaciones que se reportan en los parrafos anteriores se evidencia como el agente plastificante elegido afecta de manera directa en las propiedades mecanicas de los polimeros, ademas de que se indica que al utilizar mayores niveles de plastificantes se logran mejores caracteristicas pero hay que poner atencion al nivel maximo ya que se puede dar la migración del plastificante que producira que se desperdicie los aditivos y se tenga propiedades deficientes en los plásticos.

Como ultimo punto en las propiedades fisicas es necesario evaluar si los plasticos cumplen con las normas internacionales con lo que se evaluara si pueden ser comercializadas en el mercado, de acuerdo a la norma ASTM D882 el PVC debe superar valores iguales a 610 N/cm<sup>2</sup> para la resistencia a la tensión; asi mismo la norma ASTM D1204 indica que se debe superar valores iguales a 85% para la resistencia a la flexión.

Ademas es necesario comparar los resultados con biopolimeros para evidenciar si en alguna aplicación se puede remplazar al PVC con este material que es sostenible, de acuerdo con esto los autores (Brito, Huacho y Rodriguez 2021) que realizaron la síntesis de un polimero biodegradable a base de la yuca; obtuvo resultados iguales a 60.06% para la resistencia a la flexión y un esfuerzo maximo igual a 1.44 mPA al utilizar el almidon de yuca en combinación con glicerol y tambien se comparo con los resultados reportados por (Brito, Chuiza y Rodríguez 2020) que al elaborar un biopolimero utilizando almidón de arracacia xanthorrhiza reportaron valores iguales a 0.63 MPa para el esfuerzo a la fluencia y valores iguales a 5.80 MPa para el módulo de elasticidad.

De acuerdo con los resultados reportados por los biopolímeros estos no pueden reemplazar al PVC ya que es un material estructural que resiste altas presiones y temperaturas; lo que no podrán soportar los biopolímeros; y estos deben ser destinados a la confección de fundas plásticas o de empaques alimenticios en donde por sus características si pueden reemplazar al PET (polietilene tereftalato), PP (polipropileno) y HDPE (polietileno de alta densidad).

La norma ASTM D1004 indica que se debe superar valores iguales a  $200 \text{ N/cm}^2$  para la prueba resistencia a la ruptura. Por lo que en la presente investigación el PVC duro y el PVC corrugado cumplen con los estándares internacionales para las tres pruebas; mientras que el PVC blando no logra cumplir con la prueba resistencia a la flexión y si se quiere comercializar se debe mejorar esta prueba o se puede limitar las aplicaciones en las que se pueda utilizar.

Analizando los datos obtenidos a las pruebas químicas de los distintos tipos de PVC se puede evidenciar que para la determinación de iones cloruro; nitrógeno y la apariencia del humo los resultados reportados fueron los mismos para todos los tipos de PVC por lo que se puede evidenciar que no existe cambio en la estructura química del polímero cuando se adiciona distintos tipos de plastificantes.

Esto se debe a que los enlaces que se forman entre la matriz del polímero y el plastificante no afecta la composición del polímero, esto hace referencia a que se tendrá la misma cantidad de iones cloro en la interfase; además de que se tendrá el mismo contenido de hidrocarburos, lo único que se ve afectado por la presencia del agente plastificante como se mencionó en los párrafos anteriores es la interacción existente entre el hidrocarburo y los iones cloro. Además, se puede afirmar que los plastificantes no contienen nitrógeno razón por la cual no existe presencia de dicha sustancia al realizar las pruebas.

Donde existió cambios considerables es en la densidad y en el pH del humo luego de analizar las respuestas obtenidas se determinó que el tratamiento de PVC corrugado reporto resultados mayores con respuestas iguales a  $1.03 \text{ g/ml}$  y para el pH el PVC corrugado reporto un valor igual a 7.85 dando un pH neutro. En este caso se ve la diferencia que existe entre los distintos tipos de polímeros y esto se debe al cambio de estructura física que se da en la matriz.

En relación con el pH; la naturaleza de los plastificantes es muy amplia así como su estructura química esto se ve reflejado al medir el pH; en relación se tiene que el PVC duro reporto un pH ácido y para los otros dos se reportó un pH neutro que es el óptimo para materiales estructurales ya que esto evitara que exista la presencia de iones que puedan generar corrosión y que por efecto de esto se genere una destrucción en la matriz del polímero disminuyendo así su vida útil y su resistencia frente a los factores externos.

De acuerdo con la norma ASTM D792 para distintos tipos de PVC se sugiere que la densidad tenga como valor mínimo 1 g/ml; en el caso de la presente investigación todos los tipos de PVC cumplen con la normativa. Para el pH no existe una norma específica que determine la calidad de este; pero los autores mencionados en la discusión sugieren que el pH tenga un valor neutro; esto para que el material sea más estable y no interfiera con otras sustancias cuando entre en contacto con las mismas.

### 3.5. Comprobación de hipótesis

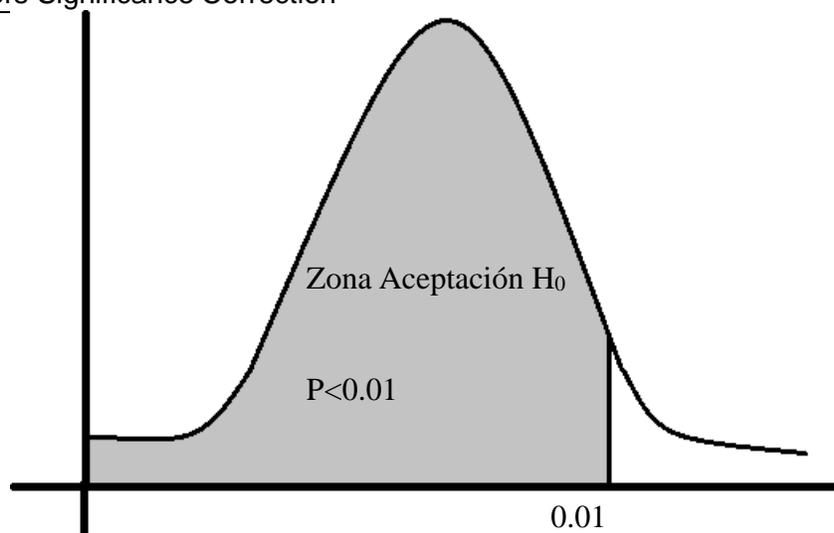
#### 3.5.1. Comprobación de la hipótesis general

Ha: Los plastificantes resultan ser el componente fundamental en la calidad final que tiene el PVC, por lo que se espera que la flexibilidad de nuestro PVC sea proporcional a la cantidad de plastificante usada.

Ho: Los plastificantes no resultan ser el componente fundamental en la calidad final que tiene el PVC, por lo que se espera que la flexibilidad de nuestro PVC sea proporcional a la cantidad de plastificante usada.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ResistenciaFlexion	.310	18	.000	.757	18	.000

a. Lilliefors Significance Correction



Se acepta la hipótesis alternativa, los plastificantes resultan ser el componente fundamental en la calidad final que tiene el PVC, por lo que se espera que la flexibilidad de nuestro PVC sea proporcional a la cantidad de plastificante usada, como resultado de que el valor de probabilidad es menor a 0.01.

#### 3.5.2. Comprobación de las hipótesis específicas

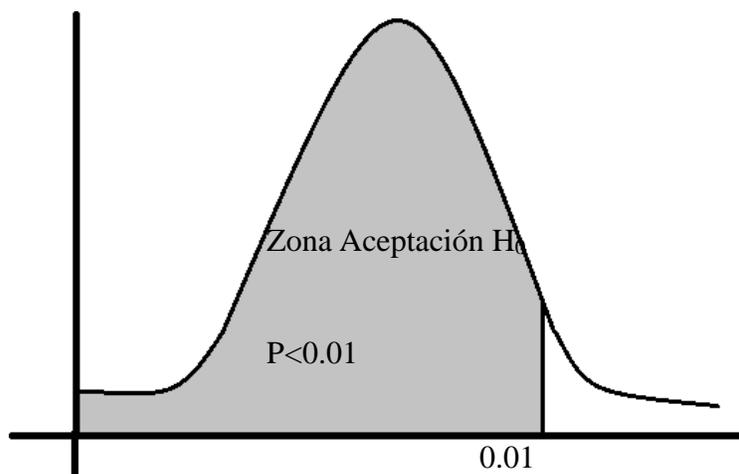
### 3.5.2.1 Comprobación de la hipótesis específica 1

Ha: La cantidad adicionada del monómero y el tipo de plastificante son necesarios para determinar la calidad final del producto.

Ho: La cantidad adicionada del monómero y el tipo de plastificante no son necesarios para determinar la calidad final del producto.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Lastometria	.386	18	.000	.684	18	.000
ResistenciaRuptura	.227	18	.015	.799	18	.001

a. Lilliefors Significance Correction



Se acepta la hipótesis alternativa, la cantidad adicionada del monómero y el tipo de plastificante son necesarios para determinar la calidad final del producto, como resultado de que el valor de probabilidad es menor a 0.01.

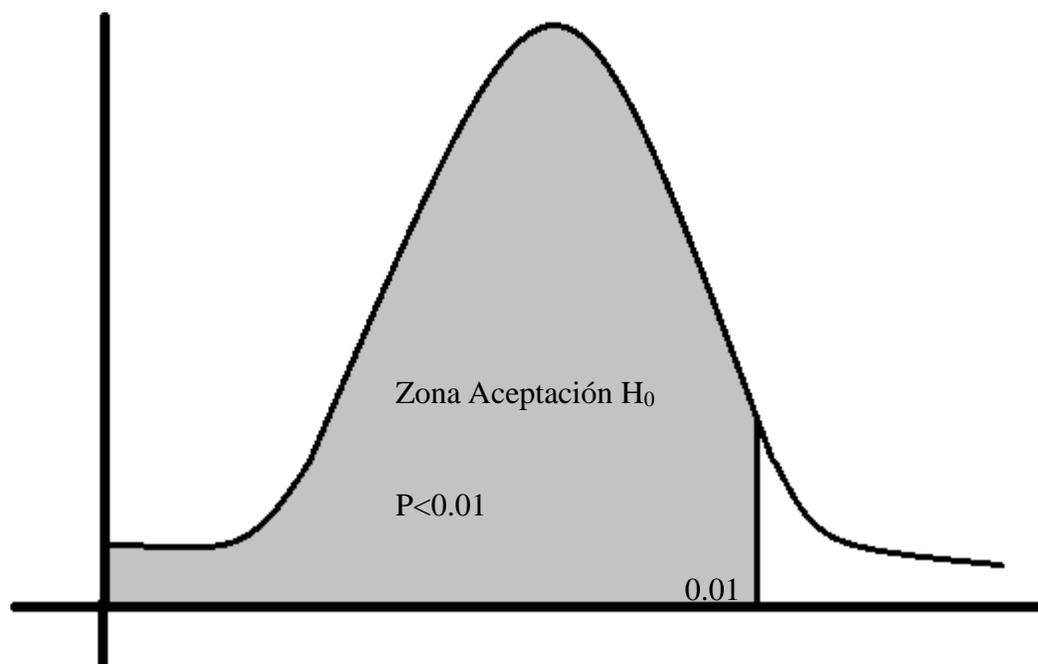
3.5.2.2. *Comprobación de la hipótesis específica 2*

H<sub>0</sub>: El tipo y la cantidad de plastificante adicionado en la formulación del polímero determina si el PVC es rígido o blando.

H<sub>a</sub>: El tipo y la cantidad de plastificante adicionado en la formulación del polímero no determina si el PVC es rígido o blando

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Densidad	.325	18	.000	.756	18	.000
pH	.224	18	.017	.850	18	.009

a. Lilliefors Significance Correction



Se acepta la hipótesis nula, el tipo y la cantidad de plastificante adicionado en la formulación del polímero determina si el PVC es rígido o blando, como resultado de que el valor de probabilidad es menor a 0.01

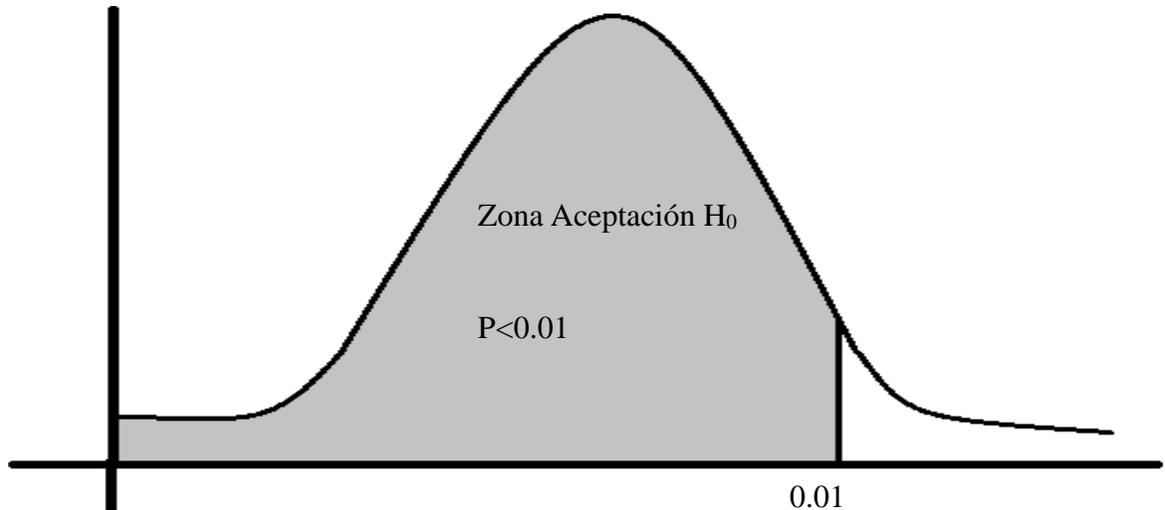
3.5.2.3. *Comprobación de la hipótesis específica 3*

Ha: El cambio de las características entre los distintos tipos de PVC se ve afectada por la formulación que se emplea.

Ho: El cambio de las características entre los distintos tipos de PVC no se ve afectada por la formulación que se emplea

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ResistenciaTension	.294	18	.000	.758	18	.000
ResistenicaFlexion	.310	18	.000	.757	18	.000
Lastometria	.386	18	.000	.684	18	.000
ResistenciaRuptura	.227	18	.015	.799	18	.001

a. Lilliefors Significance Correction



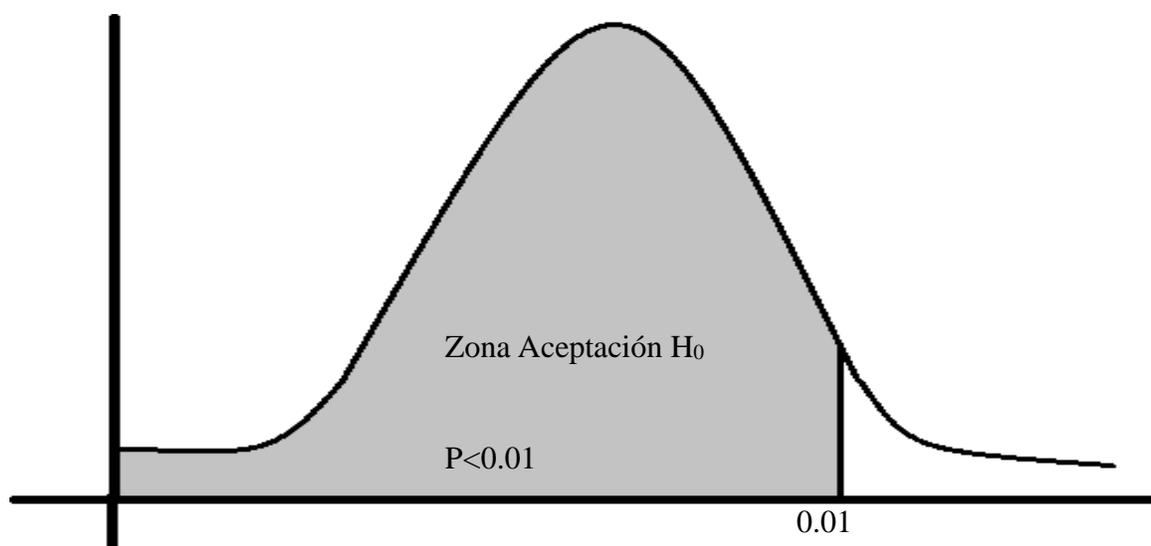
Se acepta la hipótesis alternativa, el cambio de las características entre los distintos tipos de PVC se ve afectada por la formulación que se emplea, como resultado de que el valor de probabilidad es menor a 0.01.

### 3.5.2.4 Comprobación de la hipótesis específica 4

Ha: La relación entre los indicadores económicos de costo beneficio es proporcional a la inclusión de nuevos agentes en los procesos productivos de PVC.

Ho: La relación entre los indicadores económicos de costo beneficio no es proporcional a la inclusión de nuevos agentes en los procesos productivos de PVC.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Relacionbeneficio	.277	18	.001	.793	18	.001
a. Lilliefors Significance Correction						



Se acepta la hipótesis alternativa, a relación entre los indicadores económicos de costo beneficio es proporcional a la inclusión de nuevos agentes en los procesos productivos de PVC, como resultado de que el valor de probabilidad es menor a 0.01.

### 3.6 Costos de la investigación

En la tabla 1-6; 2-6 y 3-6 se muestran los costos directos e indirectos para la producción de 5 kilogramos de cada tipo de PVC que se produjo en la presente investigación; además el costo de venta es el reportado en los distintos centros de venta plastigama en la ciudad de Riobamba donde se realizó la investigación.

**Tabla 1-6:** Evaluación de los costos directos e indirectos en la producción de PVC tipo blando

<b>Costos Directos</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Costo por kilogramo</b>	<b>Costo total</b>
Resina PVC k67	5	25
Epoxan 2486S	4.18	0.2508
Plastilón 406 DOP	1.22	0.488
Ácido Esteárico	25	0.25
Anestab 763BC	4.32	0.1296
<b>Costos Indirectos</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Costo por hora</b>	<b>Costo Total</b>
Costo de mano de obra	2.54	10.16
Costo de servicios básicos	3.18	12.72
Costo de maquinaria	5	20
Costos Totales		69.00
<b>Concepto</b>	<b>Precio por kilogramo</b>	<b>Precio Total</b>
Precio de venta	15.32	76.59
Relación Beneficio – Costos		1.11

Realizado por: CAMACHO, Gabriela. 2021.

**Tabla 2-6:** Evaluación de los costos directos e indirectos en la producción de PVC tipo corrugado

<b>Costos Directos</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Costo por kilogramo</b>	<b>Costo total</b>
Resina PVC k67	5	25
Estearato de plomo	1.98	0.00891
ftalato de diisooctilo (DIOP)	2.8	1.092

Estereato de bario	1.95	0.030225
Ácido esteárico	25	0.1125
Parafina microcristalina	3	0.0114
Cera de polivinilo	7.5	0.045
Polietileno clorado	1.75	1.0675
Acronitrilo reforzado	15	3
Acronitrilo	12	0.0372
<b>Costos Indirectos</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Costo por hora</b>	<b>Costo Total</b>
Costo de mano de obra	2.54	15.24
Costo de servicios básicos	3.18	19.08
Costo de maquinaria	5	30
<b>Costos Totales</b>		70.82
<b>Concepto</b>	<b>Precio por kilogramo</b>	<b>Precio Total</b>
<b>Precio de venta</b>	19.97	99.85
<b>Relación Beneficio – Costos</b>		1.41

Realizado por: CAMACHO, Gabriela. 2021.

**Tabla 3-6:** Evaluación de los costos directos e indirectos en la producción de PVC tipo duro

<b>Costos Directos</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Costo por kilogramo</b>	<b>Costo total</b>
Resina PVC K67	5	25
Sulfato de plomo tribásico	2.5	1.5
Plastilon DOM	1.85	7.4
Estearato de plomo	1.98	0.198
monoestearato de glicerilo	2	0.008
mercaptidos de butilina	5.15	1.2875
alcohol graso y éster de ácido graso	2.68	0.01876
Sulfato de plomo tribásico	2.5	1.5
<b>Costos Indirectos</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Costo por hora</b>	<b>Costo Total</b>
Costo de mano de obra	2.54	10.16

Costo de servicios básicos	3.18	12.72
Costo de maquinaria	5	20
<b>Costos Totales</b>		78.29
<b>Concepto</b>	<b>Precio por kilogramo</b>	<b>Precio Total</b>
Precio de venta	15.80	79
<b>Relación Beneficio – Costos</b>		1.01

Realizado por: CAMACHO, Gabriela. 2021.

De acuerdo con los resultados obtenidos el plástico que mayor rendimiento económico reporta es PVC tipo corrugado ya que reporta un valor de cociente beneficio-costo igual a 1.41; que indica que por cada dólar invertido la fábrica tendrá un retorno de 41 centavos; lo cual es significativo ya que con estas ganancias se podrá crear nuevas inversiones o generar nuevas tecnologías en post de mejorar la calidad del plástico o para reducir los contaminantes producidos.

## CONCLUSIONES

- En la evaluación de las características físicas para la resistencia a la flexión y resistencia a la ruptura el PVC tipo corrugado obtuvo respuestas iguales a 173.36 % y 443.97 N/cm<sup>2</sup> respectivamente, por otra parte se tuvo resultados para resistencia a la tensión en el PVC blando de 2758.58 N/cm<sup>2</sup> y en la resistencia a la abrasión para el PVC duro con 11.17 ciclos.
- De acuerdo con las pruebas químicas se estableció que el mejor tratamiento fue el PVC de tipo corrugado ya que reporto valores de densidad igual a 1.03 g/ml y un valor de pH igual a 7.85; en comparación con los resultados obtenidos por el PVC tipo blando con valores iguales a 2.15 g/ml para la densidad y 6.38 para el pH y con los resultados obtenidos para el PVC tipo duro con medias iguales a 1.06 g/ml para la densidad y 10.18 para el pH.
- Se realizó la relación beneficio costo, en el que se obtuvo el máximo rendimiento PVC de tipo corrugado que fue igual a 1.41; en comparación con el valor obtenido para el PVC tipo duro que reporto valores iguales a 1.01 y con los resultados reportados por el PVC tipo blando con valores iguales a 1.11.
- Se obtuvo la formulación óptima para plásticos de PVC la cual debe contener la resina de PVC, plastificantes, aditivos, estabilizadores y colorante correspondiente, en base a la investigación todos logran que disminuyan la cantidad de enlaces covalentes que hacen rígida la estructura del polímero, es por esta razón que estabiliza mejor el PVC y así mejorar sus características físicas.

## RECOMENDACIONES

- Para determinar la influencia del agente plastificante en la obtención de cloruro de polivinilo (PVC) es necesario realizar diferentes investigaciones en donde a más de plantear distintos tipos de plastificantes; se evalué el nivel óptimo de dicho agente para lograr maximizar las características finales del producto.
- Se recomienda combinar los agentes plastificantes con aditivos como rellenanates o estabilizantes; para determinar las mejores condiciones de reacción; además de que para un desarrollo sostenible de la producción de PVC será necesario utilizar plastificantes de carácter orgánico evitando así la contaminación.
- Para realizar la prueba mecánica de resistencia a la ruptura por el método de Charpi, es necesario que al realizar el moldeo del PVC se dé la forma final de la probeta de acuerdo a la norma ASTM D1004; caso contrario la elaboración de la probeta se complica y se puede tener errores al realizar el análisis estadístico de los datos.
- Promover investigaciones para mejorar las características finales de los distintos tipos de polímeros producidos en el país, con lo cual puedan cumplir con las normativas internacionales y esto haga que se puedan exportar; generando así mayores inversiones en investigación y en nuevos procesos de producción.

## BIBLIOGRAFIA

ADEKA, S., Plastificantes / Estabilizadores de PVC | Productos químicos | ADEKA. [en línea], 2017. [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en: <https://www.adeka.co.jp/en/chemical/products/pvc/>.

ASTDR, U., ToxFAQs™: Acrilonitrilo (Acrylonitrile) | ToxFAQ | ATSDR. [en línea], 2017. [Consulta: 28 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts125.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts125.html).

BELTRÁN, M. y MARCILLA, A., Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. *Tecnología de Polímeros.*, 2012.

BETAQUIMICA, S., Lubricantes para PVC: Ceras y parafinas para PVC rígido - Betaquímica. [en línea], 2015. [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en: <https://betaquimica.com/sectores/pvc/lubricantes-pvc/>.

BLUM, R. y OSTERLOH, R., Preparation of long-life plastisols and organosols. . S.l., 2010

BRITO, H., *Texto básico de operaciones Unitarias II*. S.l.: s.n., 2001.

BRITO, H., CHUIZA, M. y RODRÍGUEZ, A., Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza., 2020.

BRITO, H., HUACHO, I. y RODRIGUEZ, A., Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (Manihot Esculenta Crantz)., 2021.

BROOKS, B., *Suspension polymerization processes*. noviembre 2010. S.l.: s.n., 2010.

CARRAHER, C.E., History of Polymer Education USA. *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry*, vol. 15, no. 6, pp. 1237-1261. ISSN 0022233X. DOI 10.1080/00222338108066463., 1981.

CHEMCED, S., Archivos de formulación de pvc flexible - Chemceed. [en línea], 2016. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: <https://chemceed.com/tag/flexible-pvc-formulation/>.

CIPRECES, H., (PDF) TEMA 2. TIPOS DE PLASTICOS, ADITIVACIÓN Y MEZCLADO | hugo ciprecs - Academia.edu ., 2018.

CLORIPENE,O., Polietileno clorado Cloriprene®. . S.l., 2013.

CONJUNTOMOLAR, S.,¿Qué es y para qué sirve el ácido esteárico? [en línea], 2018. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.conjuntolar.com/index.php/blog/post/que-es-y-para-que-sirve-acido-estearico/>.

CONTYQUIMIC, S., Contyquim | Plastificantes., 2015.

COSMOS, O., Información técnica del Estearato de bario. [en línea], 2018. [Consulta: 26 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.cosmos.com.mx/wiki/estearato-de-bario-cqdp.html>.

DIENER, O., Cámara de vacío. [en línea], 2014. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.plasma.com/es/glosario-de-tecnologia-del-plasma/camara-de-vacio/>.

ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO., PROPIEDADES DE LOS ALCOHOLES · ALCOHOLES. . S.l., 2019.

FERROMADRID, I., La historia del PVC. [en línea], 2019. [Consulta: 20 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.ferromadrid.es/blog/la-historia-del-pvc>.

GILANI, P., Usos del plástico PVC., 2017.

GIOVANNY, S., DE, H. y TORRE, L.A., TRABAJO PROFESIONAL COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO QUÍMICO QUE PRESENTA: OPCION X (MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL) TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS AGOSTO 2014. . S.l., 2014.

ICOPLAST, S., Electroducto de PVC flexible. [en línea], 2018. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.plasticosrival.com/rival/files/products/pvc/catalogues/PRival-PVC-rivalflex.pdf>.

INTEREMPRESAS, S., Sistemas estabilizadores para PVC rígido - Plástico. [en línea], 1995. [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/3122-Sistemas-estabilizadores-para-PVC-rigido.html>.

LINDSTRÖM, A., *Environmentally Friendly Plasticizers for PVC-Improved Material Properties and Long-Term Performance through Plasticizer Design*. S.l.: s.n. ISBN 9789171785572., 2004.

MARINHO, R., HORIUCHI, L. y PIRES, C.A., Effect of stirring speed on conversion and time to particle stabilization of poly (vinyl chloride) produced by suspension polymerization process at the beginning of reaction. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 35, no. 2, ISSN 01046632. DOI 10.1590/0104-6632.20180352s20160453., 2018. p. 631-639.

MEGA PLASTICOS, O., Aditivos – Mega Plásticos. [en línea] , 2013. [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en: <https://megaplasticos.com.py/aditivos/>.

MEXPOLIMEROS, S., Plastificante - Polimeros termoplasticos, elastomeros y aditivos., 2017.

MWMATERIALSWORLD, S., PVC transparente flexible a medida y al mejor precio | MaterialsWorld. [en línea], 2016. [Consulta: 25 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.mwmaterialsworld.com/es/materiales/pvc/pvc-flexible-transparente.html>.

NAZZA. E., ALCOHOL POLIVINÍLICO DESMOLDANTE PARA RESINAS DE POLIÉSTER. [en línea], , 2017. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.nazza.es/fibra-vidrio/74-alcohol-polivinilico.html#/16-formato-1\\_1\\_env\\_plastico](https://www.nazza.es/fibra-vidrio/74-alcohol-polivinilico.html#/16-formato-1_1_env_plastico).

PASCAULT, J.P., HÖFER, R. y FUERTES, P., Mono-, Di-, and Oligosaccharides as Precursors for Polymer Synthesis. *Polymer Science: A Comprehensive Reference, 10 Volume Set*. S.l.:

Elsevier, ISBN 9780080878621., 2012. p. 59-82.

PLASTICSEUROPE, S., Environmental Product Declaration. . S.l., 2014.

REPSOL, O., Ceras Microcristalinas. [en línea] , 2014. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: [https://www.repsol.com/imagenes/global/es/CERAS MICROCRISTALINAS\\_esp\\_tcm13-19301.pdf](https://www.repsol.com/imagenes/global/es/CERAS_MICROCRISTALINAS_esp_tcm13-19301.pdf).

REQUIMEC, S., Resinas y Químicos del Ecuador S.A. - REQUIMEC. [en línea], 2016. [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en: [https://www.requimec.com/productos\\_plasticantes.html](https://www.requimec.com/productos_plasticantes.html).

SPECIALCHEM, S., Pigmentos para colorantes plásticos: tipos, propiedades y guía de procesamiento. [en línea], 2018. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: <https://polymer-additives.specialchem.com/selection-guide/pigments-for-plastics>.

TECNOBLOG, S., La extrusión: Proceso de moldeo por extrusión - Tecnoblog. [en línea], 2019. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.tecnoblog.com/extrusion/>.

THECHEMCO, O., Polyvinyl Chloride Resins (PVC) - The Chemical Company. [en línea], 2021. [Consulta: 26 febrero 2021]. Disponible en: <https://thechemco.com/chemical/polyvinyl-chloride-resins-pvc/>.

TODOENPOLIMEROS, S., Polimerización en Emulsión., 2021.

TORRES, H., Estudio de Factores que afectan la calidad de Proceso y Producto a base de Plastisol PRESENTA: HUMBERTO ALEJANDRO TORRES MONSIVAIS SALTILLO, COAHUILA ENERO. S.l., 2018.

URIBE, A.C. y MEDINA PERILLA, J.A., Córdoba y Medina Optimización formulaciones de PVC OPTIMIZACIÓN DE FORMULACIONES DE PVC FLEXIBLE: SISTEMA PLASTIFICANTE DOP-ESBO. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. S.l., 2021.

YANGYUAN CHEMICAL,S., Proveedores y fabricantes de sulfato de plomo tribásico de

China - Precio de fábrica Sulfato de sulfato de plomo - Química Yangyuan. [en línea], 2016. [Consulta: 28 febrero 2021]. Disponible en: <http://es.pboxidechem.com/tribasic-lead-sulphate/lead-sulphate-tribasic.html>.

YILMAZ, S., ACK 420 - 420 S - Sierra eléctrica con corte superior (automática) - Yılmaz Makine. [en línea], 2016. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.yilmazmachine.com.tr/es/ack-420-420-s-sierra-elctrica-con-corte-superior-automtica>.

ZHU, S. y HAMIELEC, A., Polymerization Kinetic Modeling and Macromolecular Reaction Engineering. *Polymer Science: A Comprehensive Reference, 10 Volume Set*. S.l.: Elsevier, ISBN 9780080878621., 2012.

# **ANEXOS**

**ANEXO A:** Norma ASTM D882 para determinar la resistencia a la tensión y la resistencia a la flexión de las muestras de PVC.



A)



B)

<p><b>NOTAS:</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b></p>	<p><b>OBTENCION DE PVC</b></p>		
<p>A) Norma ASTM D882 B) Continuación de norma ASTM D882</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>	<p><b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p>Elaborado por: Ana Gabriela Camacho Benalcázar</p>	<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala</b></p>	<p><b>Fecha</b></p>
			<p>1</p>	<p>1:4</p>	<p>28/02/2021</p>

**ANEXO B:** Norma ASTM D1004 para determinar la resistencia a la fractura utilizando el método de Charpi.



A)



B)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>OBTENCION DE PVC</b>		
A) Norma ASTM D1004 B) Continuación de norma ASTM D1004					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>		1	1:4	28/02/2021

**ANEXO C: Norma NTE INEN-ISO 17076-2 para la determinación de la lastometría de diferentes materiales**



A)



B)

<b>NOTAS:</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> Elaborado por: Ana Gabriela Camacho Benalcázar	<b>OBTENCION DE PVC</b>		
A) Norma ASTM NTE INEN-ISO 17076-2 B) Continuación de norma NTE INEN- ISO 17076-2	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>		<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			1	1:4	28/02/2021

**ANEXO D: Norma ASTM D792 para la determinacion de la densidad aplicada en los distintos tipos de PVC**



A)



B)

<b>NOTAS:</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  Elaborado por:  Ana Gabriela Camacho Benalcázar	<b>OBTENCION DE PVC</b>		
<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>			<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
A) Norma ASTM 9762  B) Continuación de norma ASTM 9762	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>		1	1:4	28/02/2021

**ANEXO E:** Recopilación fotográfica del trabajo experimental de la producción de los distintos tipos de PVC



A)



B)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p style="text-align: center;">Elaborado por:</p> <p style="text-align: center;">Ana Gabriela Camacho Benalcázar</p>	<b>OBTENCION DE PVC</b>			
A) Mezcla de los compuestos para elaborar PVC B) Extrusión del PVC			<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>	
			1	1:4	28/02/2021	



C)



D)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  Elaborado por:  Ana Gabriela Camacho  Benalcázar	<b>OBTENCIÓN DE PVC</b>		
C) Corte del PVC D) Extrusión del PVC			<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>		2	1:4	28/02/2021



E)



F)

<b>NOTAS:</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>OBTENCIÓN DE PVC</b>		
E) Determinación de las resistencias mecánicas F) Elaboración de las probetas	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>	<b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  Elaborado por:  Ana Gabriela Camacho Benalcázar			
			<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			3	1:4	28/02/2021



G)



H)

<b>NOTAS:</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  Elaborado por:  Ana Gabriela Camacho  Benalcázar	<b>OBTENCIÓN DE PVC</b>		
G) Elaboración del método complejo H) Determinación de la presencia de iones cloro	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>		<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			4	1:4	28/02/2021

**ANEXO F:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la resistencia a la tensión del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes

a) Análisis de la varianza

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)</b>					
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	9906334	2	4953167	64.96	<0.0001
Tratamiento	9906334	2	4953167	64.96	<0.0001
Error	1143760	15	76250.65		
Total	11050094	17			

b) Análisis de las medias

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Clase</b>
T2	970.33	6	112.73	A
T3	1752.59	6	112.73	B
T1	2781.9	6	112.73	C

**ANEXO G:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la resistencia a la flexión del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes

a) Análisis de la varianza

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	28572.53	2	14286.26	15.19	0.0002
Tratamiento	28572.53	2	14286.26	15.19	0.0002
Error	14108.75	15	940.58		
Total	42681.28	17			

b) Análisis de las medias

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Clase</b>
--------------------	---------------	----------	-------------	--------------

T2	970.33	6	112.73	A
T3	1752.59	6	112.73	B
T1	2781.9	6	112.73	C

**ANEXO H:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la lastometría del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes

a) Análisis de la varianza

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	370.58	2	185.29	329.78	<0.0001
Tratamiento	370.58	2	185.29	329.78	<0.0001
Error	8.43	15	0.56		
Total	379.01	17			

b) Análisis de las medias

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Clase</b>
T1	1.47	6	0.31	A
T2	11.01	6	0.31	B
T3	11.18	6	0.31	B

**ANEXO I:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la resistencia a la ruptura del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes

a) Análisis de la varianza

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	6.69E+08	2	3.34E+08	2.36	0.1285
Tratamiento	6.69E+08	2	3.34E+08	2.36	0.1285
Error	2.13E+09	15	1.42E+08		
Total	2.79E+09	17			

b) Análisis de las medias

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Clases</b>
T1	568.27	6	4860.02	A

T3	3927.29	6	4860.02	A
T2	14848.84	6	4860.02	A

**ANEXO J:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la presencia de iones cloro del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes

a) Análisis de la varianza

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	0	2	0	sd	sd
Tratamiento	0	2	0	sd	sd
Error	0	15	0		
Total	0	17			

b) Análisis de las medias

<b>PVC blando</b>		<b>PVC corrugado</b>		<b>PVC duro</b>	
1	a	1	a	1	a

**ANEXO K:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la presencia de iones nitrógeno del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes

a) Análisis de la varianza

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	0	2	0	sd	sd
Tratamiento	0	2	0	sd	sd
Error	0	15	0		
Total	0	17			

b) Análisis de las medias

<b>Prueba</b>	<b>Tratamiento</b>					
	<b>PVC blando</b>		<b>PVC corrugado</b>		<b>PVC duro</b>	
Determinación de nitrógeno	2	a	2	a	2	a

**ANEXO L:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar el pH del humo del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes

a) Análisis de la varianza

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	43.98	2	21.99	88.85	<0.0001
Tratamiento	43.98	2	21.99	88.85	<0.0001
Error	3.71	15	0.25		
Total	47.69	17			

b) Análisis de las medias

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Clase</b>
T1	6.38	6	0.2	A
T2	7.85	6	0.2	B
T3	10.18	6	0.2	C

**ANEXO M:** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar la densidad del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes

a) Análisis de la varianza

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	6.25	2	3.13	1037.16	<0.0001
Tratamiento	6.25	2	3.13	1037.16	<0.0001
Error	0.05	15	3.00E-03		
Total	6.3	17			

b) Análisis de las medias

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	<b>Clases</b>
T3	1.06	6	0.02	A
T1	2.15	6	0.02	B
T2	1.03	6	0.02	C

**ANEXO N.** Resumen de las pruebas estadísticas para determinar las características del humo del PVC al añadir diferentes agentes plastificantes

a) Análisis de la varianza

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	0	2	0	sd	sd
Tratamiento	0	2	0	sd	sd
Error	0	15	0		
Total	0	17			

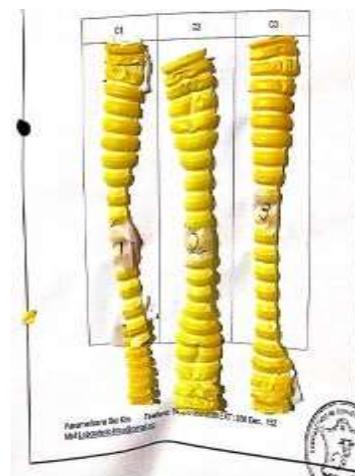
b) Análisis de las medias

<b>Prueba</b>	<b>Tratamiento</b>					
	<b>PVC blando</b>		<b>PVC corrugado</b>		<b>PVC duro</b>	
Apariencia del humo	1	a	1	a	1	a

**ANEXO O:** Resultados de las pruebas físicas de los diferentes tratamientos evaluados en la presente investigación

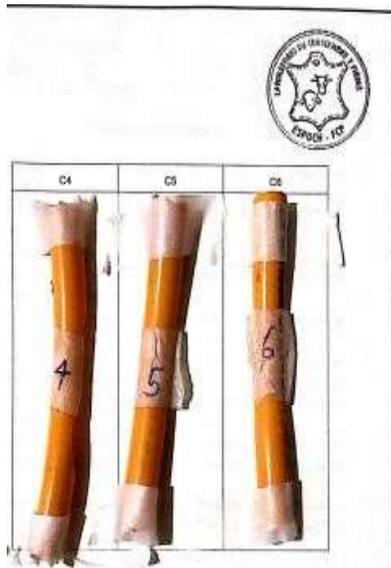


A)



B)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<p align="center"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA</b>  <b>QUÍMICA</b>                  Elaborado por:                  Ana Gabriela Camacho Benalcázar             </p>	<b>OBTENCION DE PVC</b>		
A) PVC blando B) PVC corrugado			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>
			1	1:4	28/02/2021



C)

ДУВРІЕГУ СІМВІСНО  
РЕСІБІ СОНФОРМЕ

ИНО ТИПО СЕВАВ ПТЕРЕНА СІМВІСНО

ЕИТРЕГО СОНФОРМЕ

РЕСНА ДЕ ЕИТРЕГО: 18 де Едріно де 2021

- интересное предложение по нашему делу:
- Для реализации по нашей фирме в г. Стамбуле мы предлагаем по нашей фирме
  - El equipo necesario para este trabajo de fabricación a la medida del cliente en su
  - El equipo necesario de acuerdo con la medida que se

ОБСЕРВАЦИОНЕС:



D)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> Elaborado por: Ana Gabriela Camacho Benalcázar	<b>OBTENCION DE PVC</b>		
A) PVC duro B) Certificado de los resultados			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobado</li> <li>• Certificado</li> <li>• Por aprobar</li> <li>• Por calificar</li> <li>• Por verificar.</li> </ul>	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>
			1	1:4	28/02/2021

**ANEXO P:** Resultados de todas las pruebas realizadas en el PVC

1	Tratamier	Repeticio	Resistencia a la	Porcentaj	Lastometr	Resistencia	Determin	Determin	pH	Densidad	Combustion
2	1	1	2758,45	108,24	0,45	45,8	1	2	6,5	2,14	1
3	1	2	2761,89	107,45	0,45	45,78	1	2	6,25	2,13	1
4	1	3	2763,43	105,45	2,87	42,86	1	2	6,3	2,17	1
5	1	4	2752,94	107,80	1,71	46,97	1	2	6,45	2,18	1
6	1	5	2760,47	108,54	0,45	44,68	1	2	6,5	2,15	1
7	1	6	2754,31	107,98	2,87	43,21	1	2	6,28	2,145	1
8	2	1	890,00	173,84	11,42	442,24	1	2	6,31	2,48	1
9	2	2	887,45	174,57	11,34	442,87	1	2	8	2,49	1
10	2	3	891,87	172,54	10,62	444,42	1	2	8,01	2,5	1
11	2	4	890,00	174,98	10,62	443,31	1	2	8,03	2,28	1
12	2	5	885,90	173,87	10,62	447,35	1	2	8,7	2,35	1
13	2	6	888,48	170,34	11,42	443,65	1	2	8,05	2,47	1
14	3	1	1428,45	84,87	11,34	205,8	1	2	10,08	1,05	1
15	3	2	1424,65	85,00	11,34	209,97	1	2	9,97	1,07	1
16	3	3	1428,45	87,50	10,62	205,45	1	2	10	1,08	1
17	3	4	1425,78	88,30	11,34	208,32	1	2	10,74	1,07	1
18	3	5	1428,34	87,15	11,07	207,36	1	2	10,25	1,03	1
19	3	6	1427,24	87,56	11,34	204,48	1	2	10,02	1,08	1

