

CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada
Dirección de Posgrado



*DISMINUCIÓN EN LA DENSIDAD DE LA MANGUERA
DE PVC TIPO RURAL*

TESIS QUE PRESENTA

Ing. José Alejandro Alvarez Pérez
Asesor: Mtro. Alfonso Hickman Guevara

Para obtener el grado de

Maestro en
Manufactura Avanzada

Toluca, Estado de México
julio, 2021

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR

Huixquilucan, Estado, 23 de noviembre del 2020.

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico de Posgrado
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno Ingeniero José Alejandro Álvarez Pérez, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis, titulado "DISMINUCIÓN EN LA DENSIDAD DE LA MANGUERA DE PVC TIPO RURAL" **autorizo** que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de MAESTRO EN MANUFACTURA AVANZADA.

Sin otro particular por el momento, agradezco la atención prestada.



Maestro en Manufactura,
Alfonso Hickman Guevara
Asesor Académico



Maestro en Manufactura,
Alfonso Hickman Guevara
Asesor en Planta

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



Lerma, Estado de México, 24 de Junio del 2021.

Dra. María Guadalupe Navarro Rojas
Directora de Posgrado
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del (la) alumno (a) José Alejandro Alvarez Pérez, cuyo título es:

"Disminución en la densidad de la manguera PVC tipo rural"

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el (la) alumno(a), y realizado los cambios que le fueron sugeridos, queda ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

M. en C., Cynthia Baka Camacho Castillo

F016 Revisión: 01-Mar-2021

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a las 3 mujeres más importantes en mi vida, Jesica, Camila y Constanza, sin duda esta familia en donde el poder femenino domina, ha hecho de mí una persona más sentimental y protectora. Mis pequeñas Camila y Constanza gracias por todo el combustible que me inyectan día a día para tener que esforzarme todos los días para ser mejor ejemplo de vida para ellas y que nunca dejen de luchar por sus sueños y metas en la vida. Y a Jesica por ser esa gran compañera de vida que apareció en mi camino para compartir sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos de esta tesis están divididos en 5 puntos importantes para culminar esta etapa de mi vida y que no están por orden de importancia solo en orden cronológico de cómo fueron apareciendo en mi vida.

- **Mis padres**

Por ser los motivadores principales de ser mejor cada día y de enseñarme la disciplina del estudio y la perseverancia de tratar de culminar todo lo que uno inicia.

- **Mi familia**

Por su incondicional apoyo, en muchas ocasiones de apoyo para estudiar en casa sin interrupciones y de su valioso apoyo de perder varios fines de semana con el simple hecho de darme su ayuda para culminar mi deseo de obtener una maestría. Mi principal motor y motivación para ser cada día mejor y ponerles el ejemplo de que cuando uno se propone una meta es solo cuestión de dedicación y tiempo.

- **CIATEQ**

Por la paciencia y apoyo en todo momento, si bien desafortunadamente se perdió tiempo para la titulación, encontré en esta institución apoyo y respaldo principalmente en Diana Ramirez que hizo hasta lo imposible para lograr esta gran meta.

- **Mi asesor de tesis y amigo**

Sin duda sin el apoyo y guía de Alfonso Hickman, esto no hubiera sido posible, gracias a él, este trabajo fue realizado. Es claro que aparte de considerarlo un gran amigo es una persona muy profesional que no deja nada al aire y que gracias a su seguimiento y motivación este trabajo pudo concluirse, le agradezco infinitamente su gran ejemplo de perseverancia a mi persona, de no dejar esto en el aire, el me busco para brindarme su apoyo desde el primer día que supo que había una última oportunidad para titularme y que él estaría ahí para apoyarme.

* * *

RESUMEN

El trabajo de investigación será presentado en forma de un estado de arte, con el fin de encontrar una solución al peso que actualmente tiene la manguera de PVC verde olivo para uso rural, usada principalmente para la succión y descarga de agua, para el riego en la agricultura y en el proceso de manejo de agua a través de las conocidas pipas. La razón de querer disminuir la densidad de la materia prima que actualmente es PVC es con el fin de poder tener un producto ligero el cual sea más fácil de manipular y que además esto represente un crecimiento en la utilidad del producto sin modificar las características que este producto debe de tener. El objetivo general es plantear diferentes alternativas viables para reducir la densidad de la manguera de PVC fabricada para uso rural de suministro agua al menos en un 20% de su peso original. El método dará en dos vertientes.

- A. Analizar el posible uso de ayudas de proceso (aditivos) que disminuyan la densidad volumétrica a través de generar un efecto espumante en el interior de la manguera, que permita disminuir el peso sin afectar el diseño y calidad de la manguera.
- B. Reemplazar el PVC por otro material de menor densidad, que permita obtener la manguera con las mismas especificaciones que aquella obtenida a partir del PVC.

Una vez tomada la decisión de cuál será la mejor alternativa para la disminución de al menos un 20% en la densidad del producto, se estarán planteando una serie de pruebas de laboratorio, para garantizar el desempeño optimo del producto adicionalmente de certificar que este haya tenido una disminución de densidad sin afectar las propiedades mecánicas. Esto ayudara a tener un producto más competitivo en el mercado y generar mayor utilidad, elevar sus ganancias, ya que la venta de este producto representa el 30% de su facturación anual.

Palabras clave: Manguera rural, PVC, Espumantes.

ABSTRACT

The investigation work will be present like State of Art, with the intention to find a solution of the weight that actually the Olive Green PVC Hose for suction, principally used for suction and discharge of water, for agricultural irrigation and during the process of transport water using water truck. The reason to diminish the density of the raw material that actually used PVC, the goal is to obtain a light product easier that help to manipulate with less effort and help to increase the profit of this item and don't modify any characteristics that affect the performance. The General Objective is propose different ways to reduce in 20% the original density of the raw material of the PVC hose that is made for supply water, that way we can reduce the weight of the Product. The method will be made using to ways.

A. Analyze the possibility to use some additives that help to diminish the volumetric density using the method of sparking the raw material to make a type of foam inside the hose that help to reduce the weight and don't affect the quality and characteristics that actually have on the datasheet of the product.

B. Replace the raw material that actually use PVC, with other kind of plastic with the same characteristic that actually give the PVC.

To take the better decision on this project, the job will be base in state of art and made an investigation to help that give us information to made an experiment design using the principals of Taguchi, that way take a final decision.

Once upon that take the best option to reduce the density of the raw material of the product, I propose laboratory test, to warranty the best performance, and doesn't affect any characteristic that affect mechanic properties.

That help to obtain a more competitive product on the market, and generate more profit, because that product represent 30% of the total sales of the company.

Keywords: Rural hose, PVC, Foaming.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
GLOSARIO	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. HIPÓTESIS	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 POLÍMEROS	5
2.1.1 Química, la base de los plásticos	5
2.1.2 Tipos de polímeros	6
2.1.3 Polímeros termoplásticos	6
2.1.4 Polímeros termofijos	6
2.1.5 Elastómeros	7
2.2 POLICLORURO DE VINILO (PVC)	7
2.3 TIPOS DE PVC.....	8
2.3.1 PVC rígido	9
2.3.2 PVC flexible	9
2.3.3 Ficha técnica del policloruro de vinilo	10
2.4 EXTRUSIÓN DE TUBO O PERFIL	11
2.4.1 Componentes de una línea de extrusión de manguera.....	12
3 PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN	18
3.1 AYUDAS DE PROCESO (ADITIVOS) QUE DISMINUYAN LA DENSIDAD VOLUMÉTRICA	18
3.2 ESPUMANTES FÍSICOS	19
3.3 ESPUMANTES QUÍMICOS	19
3.4 MUCCELL	22

3.4.1	Los beneficios del uso de MUCELL en la extrusión.....	22
3.4.2	Descripción detallada	22
3.4.3	¿Cuál es el único inconveniente que puede tener MUCEL?	24
3.5	EXPANCEL	24
3.5.1	Ventajas del Expancel	25
3.5.2	Aislamiento.....	25
3.5.3	Compresibilidad	25
3.6	ANÁLISIS DE ESPUMANTE	26
3.7	ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA EN PVC ESPUMADOS.....	27
4.	USO DE UN POLÍMERO DISTINTO AL PVC, DE MENOR DENSIDAD VOLUMÉTRICA	31
4.1	SELECCIÓN DE POLÍMERO	31
5.	RESULTADOS	36
5.1	DISMINUCIÓN POR ESPUMANTE TIPO EXPANCEL	36
5.2	COSTO BENEFICIO	37
5.3	PRUEBAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MATERIA PRIMA	39
5.3.1	Identificación de estructura química por FTIR	39
5.3.2	Índice de fluidez	39
5.3.3	Reología capilar	39
5.3.4	Propiedades en tensión	40
5.3.5	Resistencia al impacto caída libre	40
5.3.6	Dureza shore A y D	40
5.3.7	Temperaturas de transición (temperatura de fusión y temperatura de transición vítrea)	41
5.3.8	Grado de cristalinidad	41
5.3.9	Temperatura de degradación.....	42
5.3.10	Permeabilidad a vapor de agua (WVTR)	42
6	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS	43
6.1	DISEÑO ORTOGONALES DE TAGUCHI FRACCIONADOS	43
6.2	DIAGRAMA DE GANTT ANALÍTICO	46
7.	CÁLCULO DE DENSIDAD VOLUMÉTRICA.....	48
8	ANÁLISIS FINANCIERO.....	50
8.1	INVERSIÓN INICIAL EN PRUEBAS DE LABORATORIO	50
8.2	COSTOS DE INVERSIÓN DE EQUIPO Y MATERIA PRIMA.....	52
8.3	INVERSIÓN INICIAL.....	54
8.4	Gastos de Importación e Instalación.....	55

8.4 PRODUCCIÓN MENSUAL Y MANO DE OBRA.....	56
8.5 COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES	57
8.6 ANÁLISIS DE PRECIO OBJETIVO VS PRECIO ACTUAL DE LA COMPETENCIA	59
8.7 RETORNO DE INVERSIÓN	59
8.8 GRÁFICA DE PUNTO DE EQUILIBRO	60
9. ANÁLISIS DE RIESGO	61
9.1 TABLA ANALISIS DE RIESGO	63
CONCLUSIONES	64
APORTACIÓN DE LA TESIS.....	65
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS.....	66
REFERENCIAS	67
ANEXOS	70
ANEXO 1. TIEMPO Y TEMPERATURA DE ESPUMADO PARA PVC	70
ANEXO 2. ANÁLISIS DE MERCADO PARA LA MANGUERA RURAL	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Polímero en cadena.....	5
Figura 2 Fabricación de PVC	7
Figura 3 Extrusora para fabricación de manguera	11
Figura 4 Dado de extrusión para tubería	13
Figura 5 Mandril para fabricación de manguera envuelta tipo rural	15
Figura 6 Tinajas de enfriamiento para manguera rural.....	16
Figura 7 Tablero Escape utilizando MUCCELL.....	24
Figura 8 Absorción de agua.....	28
Figura 9 Gráficas del comportamiento del PVC vs la absorción de agua.....	28
Figura 10 Estructura de manguera rural	34
Figura 11 Ancho de la probeta.....	49
Figura 12 Espesor de la probeta	49
Figura 13 Largo de la probeta	49
Figura 14 Peso de la probeta	49
Figura 15 Punto de equilibrio	60
Figura 16 Micrográficas del PVC espumado	72
Figura 17 Densidad de la célula comparado con el tiempo y temperatura	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ficha técnica del PVC rígido	10
Tabla 2 Ficha técnica del PVC flexible.....	10
Tabla 3 Uso y temperatura de descomposición de espumantes.....	21
Tabla 4 Densidad de las células con la absorción de agua con PVC espumado	29
Tabla 5 n, k y el coeficiente de difusión	29
Tabla 6 Código de Identificación en la NMX-E-232-SCFI-1999	31
Tabla 7 Clasificación por densidad volumétrica.....	32
Tabla 8 Dureza de PVC utilizados para la fabricación de manguera rural	33
Tabla 9 Especificación de la manguera rural.....	33
Tabla 10 Dureza de los polímeros con 20% menor densidad volumétrica contra el PVC.....	34
Tabla 11 Datos Diagrama de Gantt	37
Tabla 12 Comparativa de costos de materia prima.....	37
Tabla 13 Costo de fabricación sin espumante.....	38
Tabla 14 Costo de fabricación con espumante	38
Tabla 15 Arreglos ortogonales.....	43
Tabla 16 Arreglos para experimentos con factores a dos niveles	44
Tabla 17 Factores y su descripción	44
Tabla 18 Tablas de especificación del producto.....	45
Tabla 19 Actividades diagrama de Gantt	46
Tabla 20 Cronograma de actividades.....	47
Tabla 21 Cálculo de densidad volumétrica	48
Tabla 22 Costos de pruebas de laboratorio	50
Tabla 23 Inversión inicial.....	54
Tabla 24 Gastos de importación e instalación	55
Tabla 25 Producción mensual.....	56
Tabla 26 Costos mano de obra.....	56
Tabla 27 Costos fijos	57
Tabla 28 Costos variables	58
Tabla 29 Análisis de riesgo "¿Qué pasaría si?" / What-if.....	63
Tabla 30 Superficie agrícola en México por estado	75
Tabla 31 Tabla de hectáreas divididas por el tipo de riego que utiliza	77

Tabla 32 Porcentaje de participación por tipo de sistema de riego utilizado ...	60
Tabla 33 Riego por goteo por estado	61
Tabla 34 Superficie agrícola en México por entidades seleccionadas para la venta del producto.....	63
Tabla 35 Consumo aproximado de rollo de 30 metros por estado	64

GLOSARIO

ACETATO DE VINILO: Es un líquido incoloro, que se emplea para obtener resinas vinílicas, es inflamable y se vende con inhibidores para evitar la polimerización prematura.

ACETILACIÓN: Adición de un radical acetilo ($\text{CH}_3\text{-CO-}$) en la molécula de una sustancia orgánica

ACRÓNIMO: Conjunto de siglas que abrevian el nombre de un plástico.

ADITIVO: Sustancia que modifica las propiedades del plástico en diferentes formas.

ALCOHOL POLIVINILICO: Polímero sintético hidrosoluble, que se presenta como polvo blanco con peso molecular entre 35000 y 250000 gramos por mol. Las propiedades del material dependerán del grado de polimerización presente.

AUTOEXTINGUIBLE: Característica que poseen algunos materiales plásticos, su estructura evita la propagación de la flama cuando éstos se queman. Una vez que la fuente de calor es retirada, el polímero extingue la flama.

BOQUILLA: Pieza de la unidad de inyección, que aglomera al material donde termina el cilindro, para ser enviado al molde.

CABEZAL: Sección final de un extrusor, donde el polímero fundido toma la forma del producto por formar.

CICLOHEXANONA: Líquido de color blanco a amarillento, combustible soluble al agua. Incendia a 420°C es tóxico por inhalación y se emplea en la producción de varios materiales sintéticos, entre ellos el PVC y sus copolímeros.

CIZALLAMIENTO: Cortadura, esfuerzo cortante.

CLORURO DE VINILO: Gas de olor etéreo, monómero del PVC. Puede explotar al contacto con el aire, por eso se maneja en forma líquida en las plantas de polimerización mediante sistemas a presión.

COEXTRUSION: Técnica en extrusión que permite unir dos o más capas de plástico recién salidas del extrusor, cuando aún no son totalmente sólidas, en ocasiones se utiliza una capa intermedia de material como adhesivo.

COLAPSAMIENTO: Contracción de un mecanismo por reducción de fuerza.

CONTRAFLUJO: En inyección, se denomina así al flujo de material plástico que intenta regresar al cañón de la máquina.

COPOLÍMERO: Si en la reacción de obtención de un polímero, intervienen dos monómeros, se obtiene un copolímero. Los hules termoplásticos son ejemplos de copolímeros, como el EPDM copolímero de etileno-propileno.

CRAQUEO: Efecto que se presenta cuando una molécula de polímero se rompe.

CHILLER: Equipo de enfriamiento que mantiene los fluidos de refrigeración a determinada temperatura. Su funcionamiento se basa en un depósito y una bomba.

DEGRADACIÓN: Deterioro en las propiedades del polímero, pérdida de transparencia, amarillamiento, alteración del peso molecular por la acción de solventes, decremento de las propiedades mecánicas por fatiga, oxidación por calor excesivo y degradación biológica.

DEHUMIDIFICACIÓN: Retirar el vapor de agua (humedad) presente en el aire.

DEPOLIMERIZACIÓN: Degradación de un material plástico o polimérico en el que las cadenas moleculares rompen sus enlaces.

DUREZA: La resistencia de un material plástico a la compresión y al mellado. Los métodos de prueba más importantes para esta propiedad son: Brinell, Rockwell y Shore.

DUREZA BRINELL: Prueba de dureza, en la que una esfera se presiona contra una superficie bajo condiciones conocidas, para medir el diámetro de la impresión.

DUREZA ROCKWELL: Un método común de prueba de materiales plásticos para resistencia al mellado en el cual un diamante o bola de acero, bajo presión es usada para penetrar el espécimen de prueba. La carga usada es expresada en kilogramos y el peso de 10 Kg.

DUREZA SHORE: Prueba aplicada a los materiales para determinar su dureza mediante un aparato llamado durómetro.

ELASTOMERO: Son materiales capaces de recuperar su forma después de someterse a un esfuerzo o tensión, generalmente son hules.

ELECTRÓLISIS: Fragmentar una substancia en iones a través de una corriente eléctrica. Los iones producidos se depositan en los electrodos utilizados.

ELONGACIÓN: Incremento en la longitud de una muestra debido a una tensión que se aplica sobre ella. Generalmente se expresa como un porcentaje de la longitud original.

EPDM: Abreviatura inglesa de los elastómeros obtenidos del etil-propildieno. (Ethylene-Propylene Diene Monomer).

EPÓXICO: Basado en óxido de etileno, las resinas epóxicas son derivados de la condensación del bifenol A y la epiclorhidrina.

EXTRUSIÓN: Método de transformación donde un plástico es forzado a pasar a través de una abertura con forma definida, previa fusión del mismo.

HUSILLO: Elemento metálico de geometría helicoidal que plastifica los polímeros girando en un cilindro hueco llamado barril o cañón. Los diseños empleados en los husillos varían en función de los requerimientos del material plástico y del proceso de transformación.

MALLA: Filtro colocado en las máquinas de extrusión para retener las impurezas presentes en el material plastificado.

MANDRIL: Núcleo usado en procesos de extrusión para formar tubería, película o perfiles.

PELLET: Gránulos de plástico con tamaño regular, de forma esférica o cilíndrica, constituyen la presentación comercial del material.

PELLETIZAR: Proceso en el que se forman pellets, usando un extrusor cuyo dado tiene muchos orificios por donde sale el plástico con las dimensiones requeridas. Esta operación puede efectuarse en frío o caliente.

PESO MOLECULAR: En el caso de los plásticos, es una medida indirecta de la longitud de las cadenas de un polímero. A mayor peso molecular, mayor longitud en la misma.

PH: Valor que indica la alcalinidad o acidez de cualquier sustancia generalmente líquida. El agua pura sirve como referencia de este parámetro con un valor de 7, una lectura menor implica naturaleza ácida mientras que un valor mayor significa que se tiene un álcali o base.

PIROMETRO: Instrumento que permite medir temperaturas muy elevadas, como las de un horno de fundición.

PLÁSTICO: Material formado por largas cadenas hidrocarbonadas, de naturaleza orgánica, susceptible de ser moldeados. Sus propiedades varían en función de su conformación química y modificaciones de las que pueden ser objeto (mezclas y aditivos).

PLASTIFICACIÓN: Fusión del plástico por efecto de fricción y calentamiento. También se dice que un material está plastificado si tiene aditivos plastificantes, como en el caso del PVC.

PLASTIFICANTE: Agentes químicos agregados a las composiciones de plástico para proporcionar flujo y procesabilidad y para reducir su rigidez. Esto es alcanzado al bajar su temperatura de transición vítrea.

POLÍMERO: Palabra derivada del latín poli = muchos y meros = partes; utilizada para designar materiales formados por la unión de monómeros. Los polímeros pueden ser naturales (lana, algodón) o sintéticos.

POLIOL: Alcohol que tiene tres o más grupos hidróxido (OH), como los glicéridos y los alcoholes de azúcar.

REFUERZO: Material fuerte e inerte, unido al plástico para darle fuerza, rigidez y resistencia al impacto. Los refuerzos son usualmente largas fibras de vidrio, aramídicas o de carbón. Para ser efectivo, el refuerzo debe adherirse fuertemente a la resina.

RESILENCIA: Propiedad de un material, generalmente espumado, de recobrar su forma original después de someterse a cualquier distorsión.

RESINA: Fluido polimérico denso, viscoso, natural o sintético con alto peso molecular.

SCRAP: Sobrante del moldeo que no forma parte de la pieza final como rebabas, coladas, piezas defectuosas, en los procesos de extrusión o inyección éste excedente es molido e incorporado al proceso como material remolido.

TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VITREA: Conocida como Tg, es el punto en el que un plástico se vuelve semilíquido. Por encima de ésta, el material está fundido y antes de ella presenta rigidez, semejante al vidrio.

TERMOFUSIÓN: Volver líquido a un sólido por efecto de la temperatura.

TERMOPLÁSTICO: Plástico capaz de ser moldeado en repetidas ocasiones, ya que puede fundir y enfriarse. Los miembros típicos de esta familia son los polímeros estirénicos, acrílicos, vinílicos, olefínicos, entre otros.

TRANSLÚCIDO: Cuerpo o superficie que permite el paso de la luz, pero no se puede ver a través de él.

U.M.A.: Siglas de Unidades de Masa Atómica.

VISCOSIDAD: Resistencia que presenta un líquido a fluir, generalmente debido a la fricción entre las moléculas del líquido.

VULCANIZACIÓN: Reacción química que cambia las propiedades físicas de un hule o plástico, haciendo reaccionar azufre, calor y material polimérico. Los

cambios incluyen disminución del flujo plástico, reducción de dureza superficial, solubilidad, incremento en la elasticidad y resistencia a la tensión.

ZIEGLER-NATTA: Familia de catalizadores esteroespecíficos que deben su nombre a los científicos que los desarrollaron, Karl Ziegler y Giulio Natta. Básicamente son grupos alquil-aluminio o compuestos de titanio, el trietilaluminio, tetracloruro de titanio son ejemplos de estos catalizadores. Ziegler y Natta recibieron el premio Nobel de Química en 1963 por su descubrimiento.

ZONA DE MEZCLADO: Sección del husillo donde el plástico se somete a esfuerzos mediante un maquinado especial, existen diversos diseños de estas zonas de acuerdo a las necesidades del material a procesar y del producto.

TERMOPLÁSTICOS COMODITIES

Acrónimos de los principales plásticos por consumo.

- PP – Polipropileno
- PET – Polietilén Teraftalato
- PEAD – Polietileno de Alta Densidad
- PEBD – Polietileno de Baja Densidad
- PELBD – Polietileno Lineal de Alta Densidad
- mPE – Polietilenos – Metalocenos
- PVC – Policloruro de Vinilo
- PS – Poliestireno
- EPS – Poliestireno Expansible “Unicel”
- PSI – Poliestireno Impacto
- EVA – Etil Vinil Acetal

1. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua afecta ya a todos los continentes. Cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1.600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos. La escasez de agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI al que se están enfrentando ya numerosas sociedades de todo el mundo. A lo largo del último siglo, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua. La escasez de agua es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano. Hay suficiente agua potable en el planeta para abastecer a los 7.000 millones de personas que lo habitamos, pero ésta está distribuida de forma irregular, se desperdicia, está contaminada y se gestiona de forma insostenible. (Watkins, 2006).

1.1. ANTECEDENTES

Debido a que uno de los factores que hoy en día afecta a la humanidad es el abastecimiento de agua y su distribución, una de las formas más comunes es el uso de bombas para su extracción de pozos o descarga de pipas estas normalmente se hacen a través de una manguera de succión o descarga, misma que nos enfocaremos en buscar una mejora en este producto.

La reducción de la densidad en muchos productos es con el fin de encontrar un menor peso, como pasa en la industria automotriz cada día se buscan autos más eficientes con menor gasto de combustible o usando energías alternas en ambas elecciones se busca un auto más ligero para que este sea más fácil de mover, usando aleaciones o materiales más ligeros para su fabricación. En el área de la industria plástica tenemos muchos casos similares, por ejemplo, el

garrafón de agua de 20 litros, en sus inicios el garrafón era fabricado de vidrio y el manejo de este era muy peligroso ya que tenía un peso muy alto, posteriormente se desarrolló el garrafón de PVC, en la actualidad podemos encontrar en el mercado garrafones de distintos polímeros con una reducción en peso, ya sea en PVC modificado o en otros polímeros como es el policarbonato o incluso el PET.

A través de este trabajo se plantearon algunas alternativas o estrategias para disminuir la densidad volumétrica en la manguera de PVC tipo rural.

Este trabajo fue inspirado por varios usuarios finales que se quejaban del difícil manejo de este producto y sobre todo el poder Producción de Manguera NAM SA DE CV a generar una mejor utilidad y poder darle trabajo a más gente que lo ha perdido debido al poco margen que este producto representa.

A continuación, plantearemos propuestas para encontrar la solución de poder encontrar con base a una metodología de trabajo el mejor camino para poder reducir en al menos el 20% la densidad del producto y que este tenga el mismo desempeño y no pierda sus características que realmente no han cambiado a través del tiempo.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La manguera rural ha sido fabricada desde su creación con dos tipos de materiales, originalmente era fabricada de Hule, sin embargo en los años 80 se empezó a fabricar en PVC típicamente en color verde ya que era el color de identificación para la manguera de descarga y succión usada en el campo, se realizó en este plástico termoplástico con el fin de poder fabricar rollos más largos y de menor peso que los producidos en hule, sin embargo el tema del peso en diámetros mayores sigue siendo un área de oportunidad.

En México este producto ha ganado mucha popularidad debido a la falta de abastecimiento a través de tuberías de agua en zonas rurales, es por eso que en zonas lejanas donde el abasto se complica por el alto costo de la infraestructura se realiza a través de pipas o pozos locales. El manejo de la

manguera en 3" y 4" se puede volver complicado debido a que su peso ronda los 50 a 80 kilos respectivamente y eso hace un tanto complicado su manejo por una sola persona, la idea es a través de este trabajo tener un producto más liviano que facilite su manejo y la vuelva más ligera, si bien la reducción de peso no resolverá el problema de raíz, ayudara a que su maniobrabilidad sea más fácil para el usuario.

A través de este trabajo se realiza un estudio del estado del arte para investigar las mejores alternativas para encontrar una manera de disminuir la densidad de la manguera de PVC tipo rural tomando en cuenta todas las alternativas disponibles en el mercado y aplicando tecnología que está funcionando en la fabricación de productos plásticos enfocados en la disminución de consumo de materia prima o aligeramiento del producto final.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Como parte de su plan estratégico de crecimiento y desarrollo la empresa PRODUCCIÓN DE MANGUERAS PLÁSTICAS NAM S.A. DE C.V., se ha planteado llevar a cabo mejorar algunos de sus productos a través de la innovación en sus diseños y/o procesos de fabricación, lo que le permitirá posicionarse en el mercado nacional.

Por ejemplo, actualmente la empresa ha detectado una gran área de oportunidad en la mejora de la manguera de PVC para uso rural de transporte y distribución de agua.

Si bien la empresa había contemplado como primera opción realizar un nuevo producto, un análisis detallado de esta opción permitió visualizar la necesidad de que esta alternativa implicaba una considerable inversión de recursos, así como la necesidad de contar ya con un plan de marketing, el cual, sería costoso además de que requeriría de un plazo considerable para su elaboración.

Por lo anterior, se decidió optar por la opción de optimizar uno de los productos más representativos y que más venta representa para la empresa: la manguera de PVC tipo rural para distribución de agua.

Este trabajo busca plantear diferentes opciones o alternativas para modificar la densidad de la manguera plástica fabricada por la empresa.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Plantear diferentes alternativas viables para reducir la densidad de la manguera de PVC fabricada para uso rural de suministro de agua, al menos en un 20% de su peso original.

1.4.2. Objetivos específicos

El método de la disminución de la densidad volumétrica de la materia prima se dará en dos vertientes.

- A. Analizar el posible uso de ayudas de proceso (aditivos) que disminuyan la densidad volumétrica a través de generar un efecto espumante en el interior de la manguera, que permita disminuir el peso sin afectar el diseño y calidad de la manguera.
- B. Reemplazar el PVC por otro material de menor densidad, que permita obtener la manguera con las mismas especificaciones.

1.5. HIPÓTESIS

Es posible reducir la densidad de la manguera Rural de PVC en color verde olivo elaborada en México, que es fabricada a través de una mezcla de PVC Rígido y PVC Flexible en 20% obteniendo un peso específico de 1.16 gr/cm^3 , aplicando Arreglos ortogonales para experimentos a dos niveles con el propósito de obtener un producto innovador, ligero y con mayor margen de utilidad para la empresa Mangueras Plásticas NAM SA DE CV localidad en Toluca, Estado de Mexico.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 POLÍMEROS

2.1.1 Química, la base de los plásticos

La base de la ciencia de los plásticos es la química, en especial la química del carbono, ya que los plásticos provienen de materias primas conocidas genéricamente como "Hidrocarburos", contenidos en el petróleo y otras fuentes orgánicas, estos materiales que forman los plásticos son conocidos como "Monómeros" para formar una larga cadena conocida como "Polímero", (poli=muchos, mero= partes); así un polímero es una sustancia o material sintético formado por cantidad finita de unidades repetidas llamadas monómeros. En la figura 1 esta una imagen representativa de cómo se genera un polímero en cadena.

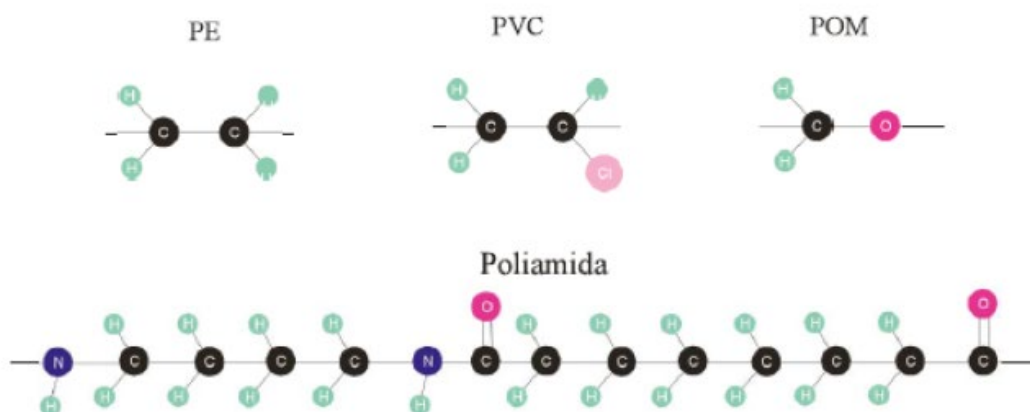


Figura 1 Polímero en cadena

(Anónimo, 2013)

La Industria del Plástico es una industria relativamente joven, cuyo desarrollo histórico podríamos ubicar prácticamente a la par del siglo pasado, Los primeros cincuenta años correspondieron a la investigación y a la implementación de los descubrimientos realizados. Los siguientes 30 años en la difusión de la información y aprovechamientos de ellos y los últimos 20 años en optimizar el uso de los mismos. (Blanco Vargas, El mundo de los plásticos: módulo 1, 2008).

2.1.2 Tipos de polímeros

Los polímeros se clasifican en tres familias.

2.1.3 Polímeros termoplásticos

Un Termoplástico es un material sólido que posee gran estabilidad a temperatura ambiente y que se convierte en líquido viscoso a temperaturas superiores, pero donde el cambio puede ser reversible. Debido a su alto peso molecular, los plásticos nunca se convierten en fluidos ligeros; es decir, alcanzar baja viscosidad. Es importante distinguir que el cambio de sólido a líquido, comúnmente llamado fusión, puede significar dos mecanismos enteramente diferentes en dos clases de termoplásticos, una clase será referida como "Termoplásticos Amorfos" y la otra como "Termoplásticos Cristalinos". Los amorfos se caracterizan por que sus moléculas filamentosas y ramificadas están en completo desorden. Este arreglo molecular permite, de alguna manera, el paso de la luz, motivo por el cual los plásticos amorfos son generalmente transparentes o translúcidos. En cambio, los cristalinos los ordenamientos en los tramos de las macromoléculas paralelas equivalen al ordenamiento de átomos o moléculas en forma de cristales, los cuales se oponen al paso de la luz y provocan una apariencia lechosa o translúcida (Blanco Vargas, El mundo de los plásticos: módulo 1, 2008).

2.1.4 Polímeros termofijos

Son materiales rígidos que presentan una estructura molecular compleja tipo red, generada por una reacción no reversible entre dos o más componentes, la cual tiene lugar durante el proceso de moldeo. Son plásticos que se mantienen rígidos y sólidos a temperaturas elevadas se obtienen por reticulación de productos líquidos de bajo peso molecular, lo cual puede ocurrir por aplicación de calor o por reacción de varios componentes, normalmente polímero termofijo, más agente de entrecruzamientos a temperatura ambiente. Debido a que no funden, no pueden reprocesarse como los termoplásticos; sin embargo, sus residuos pueden molerse y destinarse para cargas a otros plásticos o asfalto (Blanco Vargas, El mundo de los plásticos: módulo 1, 2008).

2.1.5 Elastómeros

Son materiales elásticos que recuperan casi totalmente su forma original después de liberar alguna fuerza que se encuentre aplicada sobre ellos, son insolubles y no pueden fundir mediante aplicación de calor; es decir, pueden descomponerse químicamente cuando se calienten más allá de su temperatura máxima de servicio. También son conocidos como Hules (Blanco Vargas, El mundo de los plásticos: módulo 1, 2008).

2.2 POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El polímero resultante de la asociación molecular del monómero Cloruro de Vinilo se denomina con las siglas PVC, que se originan de las palabras en inglés "PolyVinyl Chloride", cuya traducción al español es Policloruro de Vinilo, alcanza valores de peso molecular de 50,000 hasta 450,000 g/gmol. Es un polímero termoplástico que por sí solo es el más inestable de estos, pero con aditivos es el más versátil, debido a que puede ser transformado por 12 procesos en una infinidad de productos útiles (Blanco Vargas, Diplomado en plásticos: módulo 4: aditivos y PVC, 2008). En la figura 2 podemos ver un diagrama de cómo es producido el PVC.



Figura 2 Fabricación de PVC

(Mariano, 2012)

Existen varias alternativas para la producción de cloruro de vinilo, que servirá a su vez para la formación de PVC. Entre las más empleadas industrialmente destacan:

- Cloración del Etileno
- Oxiclорación del Etileno
- Pirólisis del 1,2-Dicloroetano

En México, la obtención del monómero para la producción de PVC se efectúa a través de la tercera opción, iniciando con la refinación de petróleo, del cual se extrae etileno que al clorarlo directamente produce el 1,2-dicloroetano. Al someter este último a pirolisis entre 300 a 600 °C, se descompone en Cloruro de Vinilo y ácido clorhídrico (Blanco Vargas, Diplomado en plásticos: módulo 4: aditivos y PVC, 2008).

2.3 TIPOS DE PVC

En la práctica el transformador de plásticos clasifica al PVC en compuesto rígido y compuesto flexible o plastificado (Blanco Vargas, Diplomado en plásticos: módulo 4: aditivos y PVC, 2008).

El polímero de PVC directamente obtenido de cualquier proceso de polimerización, sin importar sus características de peso molecular y composición, es inútil para cualquier proceso de transformación. Por esta razón debe acompañarse de una serie de aditivos que proporcionen las características para ser procesado.

Cuando se formula el polímero de PVC con Aditivos, siempre se combinan en determinadas proporciones, donde el PVC se considera como cien partes de resina y el resto de los componentes se indica como la cantidad y las letras anexas **pcr**, que significan "partes por cien de resina". La ausencia o la adición de plastificante genera la clasificación para compuestos de PVC en:

- PVC Rígido (sin plastificante)
- PVC Flexible (con plastificante, hasta 25 **pcr**)
- PVC Plastisol (con plastificante, mayor a 25 **pcr**)

- PVC Organosol (con plastificantes y solventes)

2.3.1 PVC rígido

Es aquel en cuya formulación se utiliza polímero o resina de PVC de suspensión o masa y que está integrado con gran número de aditivos como modificadores de flujo, de impacto, estabilizadores, colorantes, entre otros, pero que no contiene plastificantes que modifiquen la flexibilidad de material. Esto se observa en un producto de PVC rígido que sufre ligeras o ninguna deformación ante cargas o impactos externos, y si la carga o el impacto son excesivos se puede producir la ruptura. Las aplicaciones son diversas obtenidas de los compuestos rígidos de PVC, es decir aquellos que en su formulación no contiene aditivos plastificantes (Blanco Vargas, Diplomado en plásticos: módulo 4: aditivos y PVC, 2008).

- Tubería
- Botellas
- Película y lámina
- Perfiles

2.3.2 PVC flexible

En esta formulación se usa polímero de suspensión o masa y aditivos que hacen procesable el material, como son plastificantes que imparten flexibilidad al producto terminado, dependiendo de la proporción del plastificante usado. Por ejemplo, un producto de PVC flexible sufre fácilmente deformaciones temporales o permanentes ante cargas o impactos externos, sin llegar a la ruptura. Las aplicaciones que forman este segmento son muy variadas además de que los productos que se pueden fabricar a partir de compuestos flexibles son prácticamente difíciles de sustituir por otros plásticos debido a que estos resultan más caros, o más difíciles de transformar (Blanco Vargas, Diplomado en plásticos: módulo 4: aditivos y PVC, 2008). Por el contrario, los compuestos flexibles han sustituido muchos de los mercados tradicionales de los hules, presentando grandes ventajas como en el caso de:

- Calzado
- Película

- Cable y alambre
- Recubrimiento de tela
- Perfiles
- Loseta

2.3.3 Ficha técnica del policloruro de vinilo

Tabla 1 Ficha técnica del PVC rígido

POLICLORURO DE VINILO RIGIDO (NO PLASTIFICADO)				PVC - U
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm3	D-792	53479	1.45
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	D-638	53455	550 / --
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	D-695	53454	170 / 300
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	D-790	53452	700
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	Kg.cm/cm ²	D-256	53453	NO ROMPE
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	> 20
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm ²	D-638	53457	31000
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	80 - 83
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D-1894		--
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		--
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MALA
PROPIEDADES TERMICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
CALOR ESPECIFICO	Kcal/Kg.°C	C-351		0.28
TEMP. DE FLEXION B/CARGA (18.5Kg/cm ²)	°C	D-648	53461	55
TEMP. DE USO CONTINUO EN AIRE	°C			-15 a 60
TEMP. DE FUSION	°C			150
COEF. DE DILATACION LINEAL DE 23 A 100°C	por °C	D-696	52752	0.00011
COEF. DE CONDUCCIOTERMICA	Kcal/m.h.°C	C-177	52612	0.22

(Alemán, 2002)

Tabla 2 Ficha técnica del PVC flexible

PROPIEDADES FISICAS PVC FLEXIBLE			
PROPIEDADES	METODO DE ENSAYO	UNIDADES	VALORES
Densidad	DIN53 505	gr/cm ³	1,24
Dureza	DIN 53 505	Shore A	75
Alargamiento ala rotura	DIN 53 455	daN/mm2	1,6
Resistencia al desgarre	DIN 53 455	%	340
Absorcion de agua	DIN 53 495	%	-0,2
Transmision de luz	ASTMD 1003	%	>80
Temperaturade trabajo	-	°C	-15°C+50°C
Temperatura de rotura en frio	DIN 53 372	°C	-35°C
Proteccion del sonido	DIN 53 453	dB	>35
Temperatura Maxima PVC normal	-	°C	60
Temperatura Minima PVC normal	-	°C	0
Temperatura Maxima PVC frio	-	°C	60
Temperatura Minima PVC frio	-	°C	-40

Passatge dels Rosers s/n Nave C y D (Cornella de Ll.) Tel. 93/473-35-87 Fax. 93/473-35-87

(Elaplas, 2020)

2.4 EXTRUSIÓN DE TUBO O PERFIL

La tubería de PVC se fabrica por el proceso de extrusión y las conexiones necesarias para su instalación como son codos, "Y's" y "T's" se obtiene por inyección o por termoformado de la tubería rellena con arena y pegado con adhesivos especiales. Es utilizada principalmente para la conducción de agua potable y descargas sanitarias (Blanco Vargas, Diplomado en plásticos: módulo 4: aditivos y PVC, 2008).

Las propiedades de la tubería fabricada en PVC son suficientes ya adecuadas para climas estables donde la temperatura no baje a menos de los 0°C, debido a que a baja temperatura el PVC tiende a fragilizarse y fallar a condiciones extremas de uso.



Figura 3 Extrusora para fabricación de manguera
(Blanco Vargas, Diplomado en plásticos: módulo 4: aditivos y PVC, 2008)

La extrusión de perfiles es la manufactura directa de un producto en el dado de extrusión. Así, por necesidad, estos productos son largos y continuos cuyo perfil de sección transversal se obtiene mediante la forma del dado. Como Ejemplos se tienen:

- Tubería para gas hecha de polietileno de color amarillo
- Tuberías de cloruro de polivinilo para agua y drenaje
- Marcos para ventanas de PVC
- Artículos de PVC para controlar el agua de lluvia canales de desagüe, etc.

- Cintas para sellar ventanas, parabrisas y puertas de automóviles
- Rieles de cortinas
- Manguera de jardín la cual se podemos apreciar en la figura 3 una línea de producción de este producto
- Láminas corrugadas y planas para techos

El diseño de los dados para estos procedimientos no es cosa fácil, en la figura 4, se muestra un dibujo esquemático de un dado para tubos (Morton-Jones, 2006).

2.4.1 Componentes de una línea de extrusión de manguera

2.4.1.1 Dado o cabezal para la tubería

Existen cuatro tipos de cabezal que se pueden distinguir en los equipos para la producción de tubería: el cabezal con mandril-araña, el cabezal mandril en espiral, el cabezal con alimentación lateral y el cabezal o dado con paquete de mallas. Cada uno de estos diseños proporciona diferentes patrones de flujo para el plástico, debiendo seleccionar el tipo más adecuado para evitar efectos de degradación del polímero o defectos de calidad en el producto. Para la fabricación de manguera rural usamos el cabezal tipo mandril-araña que será el único que incluiremos en este trabajo por fines prácticos (RF, 2013).

El cabezal con mandril-araña es empleado en el procesamiento de PVC; éste material por su tendencia a la degradación, exige canales de flujo que no causen turbulencias ni estancamientos de material, este tipo de cabezal es el que se usa en la fábrica para la elaboración de la manguera de PVC, porque la araña o placa rompedora ayuda a optimizar la presión dentro del husillo y hacer que se conserve el flujo de material y evitar variaciones en el espesor de pared del producto final, tal como se muestra en la Figura 4.

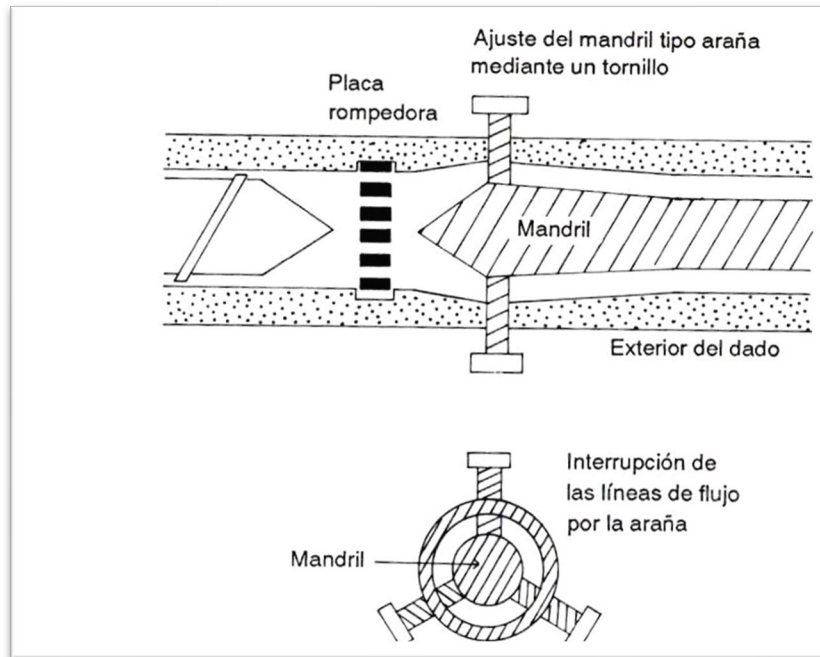


Figura 4 Dado de extrusión para tubería
(Morton-Jones, 2006)

2.4.1.2 Sistemas de calibración de tubería

Tienen la función de proporcionar el diámetro especificado a la manguera o tubo y la forma circular que el producto requiere. Se puede distinguir tres tipos de sistemas de calibración, con base en la forma de la pared del tubo producido (RF, 2013):

- - Calibración para la tubería de pared lisa
- - Calibración para tubería de pared corrugada
- - Calibración para tubería a través del uso de mandril o molde

A su vez, cada uno de los sistemas anteriores se clasifica en los siguientes principios de funcionamiento.

2.4.1.3 Calibración externa utilizando vacío

Por el volumen de tubería que se produce por este método, es la forma de calibración que se encuentra con mayor frecuencia. En este tipo de calibración, el vacío provocado en la parte externa del tubo ocasiona una diferencia de presiones que hace que el polímero, aún moldeable por la temperatura

elevada a que se encuentra, se mantenga en contacto con el tubo formador metálico, que tienen un diámetro interior igual al diámetro exterior que se especifica para el producto, este método es más común en tubería rígida o en materiales donde la deformación permanente es más común, como es el caso de tubería de PVC para plomería o tubos de nylon de alta precisión para los sistemas de frenos (RF, 2013).

La inmersión total o aspersion de agua de enfriamiento suministra la estabilidad fija para evitar deformaciones posteriores.

2.4.1.4 Calibración externa utilizando presión

En la calibración externa por presión, el mismo efecto de diferencia entre la presión exterior e interior del tubo plástico, promueve la formación del tubo contra las paredes del tubo de calibración, con la diferencia de que en este caso es aire el que se inyecta al interior del tubo que es extruido. La calibración externa por presión puede lograr mejores efectos, pero requiere de un diseño especial del cabezal para permitir la inyección de aire, este sistema es el que ocupamos en Producción de Mangueras Plásticas NAM para la producción de manguera flexible simple con refuerzo textil tipo manguera de Jardín, con este proceso podemos inflar la manguera por medio de una araña que permite la entrada de aire, y con este podemos generar la medida de la manguera del diámetro interior, es importante recordar que en las mangueras de PVC, el diámetro que nos ofrecen comercialmente hablando por ejemplo manguera de ½" o de ¾" es la medida del diámetro interior de la manguera, solo el tubo de nylon para sistemas de frenos el diámetro comercial es el exterior (RF, 2013).

2.4.1.5 Calibración para tubería a través del uso de mandril o molde

Este método consiste en tener un molde formador que dará el diámetro interior de la manguera y el espesor será controlado y modificado con la velocidad que gire el molde o mandril formador, adicionalmente se puede ocupar planchador liso o ranurado para reforzar la unión de la manguera envuelta, este Planchador ayuda a controlar el espesor de la manguera. El mandril está formado por varillas o resortes a lo largo del tubo y estas giran para que la tira de plástico se envuelta en el molde y a su vez se va deslizando para dar la forma cilíndrica a

través de una rotación continua, este proceso para la fabricación del producto es conocido como manguera envuelta, este proceso es la formación de un cilindro de PVC RIGIDO que forma un resorte interno cubierto en toda su circunferencia con PVC Flexible, que le da la flexibilidad a la manguera (RF, 2013).

Este proceso utilizado el cual es utilizado para la fabricación de manguera rural, se el proceso utilizado este proyecto, La Figura 5 se puede observar el mandril que es usado para la fabricación del producto mencionado.



Figura 5 Mandril para fabricación de manguera envuelta tipo rural

Elaboración propia

2.4.1.6 Unidad o tina de enfriamiento

Tiene por objeto remover el calor excedente que la tubería conserva a la salida del tanque de calibración. La importancia del enfriamiento radica en la estabilidad que adquiere el plástico para no deformarse, en donde el tubo se somete a presiones que podría producir alteraciones en la forma circular requerida. Se puede encontrar dos tipos de tinas de enfriamiento (RF, 2013):

2.4.1.7 Enfriamiento por aspersion

El tubo pasa por la unidad de enfriamiento, que consiste en una cámara donde numerosas boquillas instaladas rocían agua fría sobre la tubería. Este

enfriamiento es usado para tubería de gran diámetro donde las velocidades de producción son bajas y la aspersion puede lograr un enfriamiento efectivo, por el tiempo de permanencia elevado del producto dentro de este equipo (RF, 2013).

2.4.1.8 Enfriamiento por inmersión

En el enfriamiento por inmersión, el tubo pasa por una tina llena de agua en constante enfriamiento donde se lleva a cabo un proceso de intercambio de calor (RF, 2013).



Figura 6 Tinas de enfriamiento para manguera rural

Elaboración propia

En el proceso de fabricación de manguera rural se ocupan ambos métodos, al inicio del proceso se usa el proceso de aspersion, para que la manguera tenga una buena adhesión y se forme la figura cilíndrica deseada, después tiene que pasar por una tina de 30 metros la cual es la máxima longitud de este producto, rellena con agua fría y esta ayuda a enfriar en su totalidad el producto, recordemos que este manguera lleva una coextrusión que hace que el centro de la manguera sea PVC rígido el cual queda internamente en forma de espiral

y envuelto en PVC flexible; la inmersión en agua es necesaria para garantizar que el PVC rígido se enfríe totalmente y evitar que este colapse. Con la mezcla de ambas técnicas de enfriamiento, aseguramos en un inicio el enfriamiento por aspersión, ayuda a una correcta formación y pegado de la manguera envuelta y con el apoyo de viajar a través de agua fría, se pone un tapón en la punta y con esto la manguera se moverá fácilmente y ayuda que a través de este movimiento se siga enfriando y conserve la forma cilíndrica.

3 PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

A continuación se desarrolla la metodología para cada una de las propuestas que se plantean para la disminución de la densidad volumétrica en al menos un 20% el cual se verá representado en el peso total de la manguera, recordemos que el método que nosotros ocupamos para calcular el costo de producción está basado en el peso del producto, ya que de igual manera la materia prima se compra por kilogramo, entre menos peso tenga la manguera este podrá tener un margen de utilidad mayor siempre y cuando el costo de la materia prima no sea más elevado, por ejemplo el uso de fibra de carbono en la industria automotriz se utiliza para minimizar el peso del vehículo y poder tener una mejor relación de peso- potencia, la fórmula consiste simplemente en dividir el peso en kg entre la potencia del motor en CV. Así se obtiene una cifra aproximada de la masa que tiene que desplazar cada CV del propulsor de un coche, siendo esta cifra mejor cuanto más bajo sea el número que se obtiene al dividir ambos datos, sin embargo su elevado costo no permite que se utilice en autos comerciales, solo se puede justificar en autos de gama muy alta donde el tema del precio no es importante, y donde lo único que importante es el desempeño, en este caso al ser una manguera de uso común no podemos usar Polímeros de ingeniería ya que lo haría un producto poco comercial. Los plásticos de ingeniería son un grupo de materiales plásticos que tienen mejores propiedades mecánicas y / o térmicas que los plásticos básicos más utilizados (como el poliestireno, el PVC, el polipropileno y el polietileno). Al ser más caros, los plásticos de ingeniería se producen en cantidades más bajas y tienden a usarse para objetos más pequeños o aplicaciones de bajo volumen (como piezas mecánicas), por esta razón al ser un producto de gran peso y alto volumen, su uso no sería conveniente (Anderson D., 2016).

3.1 AYUDAS DE PROCESO (ADITIVOS) QUE DISMINUYAN LA DENSIDAD VOLUMÉTRICA

Las ayudas de proceso más recurrentes para reducir la densidad volumétrica son los espumantes. Los compuestos químicos que al encontrarse a altas temperaturas se descomponen produciendo gases, se utilizan para generar espacios en el material, reducir peso y bajar costo de producción final,

incrementan resistencia mecánica, aislamiento acústico y térmico; de esta forma se pueden obtener productos con otra apariencia y propiedades.

Durante el procesamiento, los agentes espumantes se integran dentro del polímero para crear una estructura celular.

Algunos de los aspectos más relevantes que tienen que ser considerados al usar este tipo de compuestos son: el tipo de agente espumante, la facilidad de dispersión del gas, la temperatura y presión de procesamiento, así como la viscosidad de la masa fundida.

Los agentes espumantes se clasifican en dos grupos.

3.2 ESPUMANTES FÍSICOS

Este grupo se encuentra formado por gases que se pueden comprimir y líquidos volátiles. Los gases comprimidos más utilizados son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono y gas natural; estos se adicionan al plástico bajo presión para producir espumado. Los líquidos volátiles, cambian al estado gaseoso por medio de las elevadas temperaturas de procesamiento. Dentro de éstos, se encuentran los hidrocarburos alifáticos fluorados, los clorofluorocarbonos (CFC) y los clorofluorometanos, que convencionalmente se utiliza en poliuretano espuma rígida y flexible, y en algunos otros materiales, como el poliestireno (PS), polipropileno (PP), PVC y resinas fenólicas.

3.3 ESPUMANTES QUÍMICOS

Son compuestos sólidos que se descomponen a las temperaturas de procesamientos del polímero y generan el gas que forma la estructura celular. El criterio más importante para su selección es su rango de temperatura de descomposición. La reacción de descomposición se lleva a cabo cuando el polímero se encuentra en estado fundido. Los espumantes químicos son orgánicos e inorgánicos, se aplican en casi todos los termoplásticos. Dentro del grupo de los inorgánicos el más utilizado es el bicarbonato de sodio, pero su aplicación es limitada porque su descomposición es menos controlable que los

espumantes orgánicos. La cantidad que se puede usar para esta aplicación puede afectar las características del producto espumado:

- El 0.1% de espumante, elimina los "rechupes" de piezas inyectadas.
- De 0.2 a 0.8% para producir piezas por inyección con espuma estructural.
- 0.3% para perfiles espumados.
- Del 1 a 15% Piezas moldeadas por compresión.

Existen diferentes tipos de agentes espumantes químicos. Para hacer una selección adecuada, es importante conocer sus características y rangos de temperaturas de descomposición. Existen cinco clases de aditivos clasificados en función de su estructura química:

- Azodicarbonamida
- Derivados de Hidrazina
- Sulfonil semicarbácidas
- Tetrazoles
- Benzoxazinas
-

En la siguiente tabla 3 se presentan algunas de las características más importantes de los espumantes más comunes.

Tabla 3 Uso y temperatura de descomposición de espumantes

	TIPO	DESCOMPOSICION EN EL AIRE (°C)	RENDIMIENTO DEL GAS (ml/gr)	PLASTICOS PRINCIPALES
A	Azodicarbornamide A	205 a 215	220	PVC,PE,PP,PS,E VA,PA
B	Azodicarbornamide A MODIFICADA	155 a 220	150 a 220	PVC,PE,PP,PS,A BS,EVA
C	4.4 Oxibis (bencensulfuro hidracida)	150 a 160	125	PE,PVC,EVA
D	Difenil sulfona 3.3' disulfohidracida	155	110	PE,PVC,EVA
E	trihidrato de alúmina	275	225	ABS, PE,PP,PA
F	P- Toluilen Sulfonilos emicarbacida	228 a 235	140	ABS, PE,PP,PA
G	Fenil Tetrazol	240 a 250	190	ABS,PC,PA,PBT
H	Anhidrido isotónico	210 a 225	115	PS, ABS, PA, PBT, PC

(Akzonobel, 2018)

A partir de una investigación de mercado de las formas disponibles para realizar el proceso espumante de un plástico, se detectaron dos alternativas que hoy en día son utilizadas en la industria. La primera opción es un compuesto desarrollado por Akzo Nobel Chemicals que fue adquirida por The Carlyle Group and GIC en 2018 hoy renombrada como Nouryon , llamado comercialmente EXPANCEL, el cual es un espumante que a través de distintas presentaciones puede ayudar a realizar este proceso. El segundo proceso investigado es un desarrollo de la empresa TREXEL llamada Mucell es a través de la modificación del extrusor y ocupando un equipo periférico que introduce en la parte de la plastificación del proceso, un gas y este se espuma mediante la inyección del mismo, este proceso ya es usado en la industria automotriz para reducir el peso en componentes que sean fabricados a partir de plástico.

3.4 MUCCELL

La extrusión de estructuras espumadas mediante CO₂ difiere de la tradicional con isobutano en varios aspectos. Sobre todo, en el poder de mezclado. En la extrusión con CO₂ se requiere un mayor poder de mezclado puesto que la miscibilidad del CO₂ con los polímeros tradicionales (PS) es menor que la del isobutano (TREXEL, 2018).

La empresa Trexel tiene la patente sobre la tecnología (MuCell) tanto para extrusión como para inyección. Consiguen tamaños de celda de 5-50 micras con una distribución uniforme, utilizando gases como el N₂ y el CO₂ en estado supercrítico como agentes espumantes físicos.

3.4.1 Los beneficios del uso de MUCCELL en la extrusión

La tecnología de extrusión de Trexel está pensada para TPE (elastómeros termoplásticos) y TPV (Termoplásticos Vulcanizados). La tecnología, aunque no esté desarrollada para un sector en específico, se utiliza mucho para el sector automotriz y el sector eléctrico-electrónico. En ambos sectores se aprovechan las ventajas de los espumados en cuanto a reducción de peso y a propiedades de aislamiento térmico y acústico. Rasgos diferenciadores y únicos de la tecnología (TREXEL, 2018).

El CO₂ puede utilizarse, no sólo como agente espumante, sino también como agente para la ayuda en el procesado, reduciendo la viscosidad del plástico fundido.

3.4.2 Descripción detallada

Existen cuatro pasos básicos en la extrusión de productos micro celulares (TREXEL, 2018).

1. El primer paso es alimentar, fundir y dosificar el polímero en el interior de la extrusora.
2. En el segundo paso, un agente espumante en forma de fluido supercrítico es introducido en la extrusora y debidamente mezclado con el polímero fundido para formar una solución de una sola fase. El fluido supercrítico es introducido

en la extrusora a través de puntos de inyección especialmente diseñados para asegurar un mezclado uniforme y continuo.

3. El tercer paso es el enfriamiento de la mezcla polímero/fluido supercrítico hasta una temperatura de extrusión adecuada.

4. El paso final es la extrusión de la mezcla a través de un cabezal diseñado con un paso de fundido especial para permitir una caída de presión en el cabezal rápida, permitiendo la nucleación de un gran número de celdas y formando una espuma microcelular. La extrusión de estructuras espumadas mediante CO₂ difiere de la tradicional con isobutano en varios aspectos. Sobre todo, en el poder de mezclado. En la extrusión con CO₂ se requiere un mayor poder de mezclado puesto que la miscibilidad del CO₂ con los polímeros tradicionales es menor que la del isobutano.

Aplicaciones finales / mercados

Trexel comercializa su tecnología a compañías como Nypro, Avaplas Ltd., Valeo, Behr y Schröder, estas a su vez, son proveedores de compañías importantes en los sectores de automotriz, eléctrico y electrónico.

La aplicación más importante realizada hasta el momento es el panel de instrumentos de la Ford Escape. Esta pieza ganó el *Automotive Innovation Award Grand Prize* de la Sociedad de Ingenieros Plásticos 2011 (SPE) y recibió publicidad. La tecnología representó ahorros significativos de peso y costos. Las piezas se están produciendo actualmente en Hermosillo, México.

El panel de la Ford Escape/Kuga es el componente automotriz más grande que se haya moldeado usando MuCell, y es también el primer panel de instrumentos en ser moldeado con este proceso.



Figura 7 Tablero Escape utilizando MUCCELL
(TREXEL, 2018)

3.4.3 ¿Cuál es el único inconveniente que puede tener MUCEL?

Las partes con MuCell normalmente son piezas elaboradas a través de inyección de plásticos, y en su gran mayoría son piezas de ingeniería con un valor de mercado alto, lamentablemente para un producto como la manguera rural, en un inicio la inversión sería muy alta para producir un producto con poco margen de utilidad y sobre todo en donde hasta hoy el volumen de fabricación no justifica una inversión tan alta, se cotizo el equipo MUCEL, y el costo de inversión ronda los USD 50,000 para una extrusora de 65 mm de diámetro de cañón, por lo cual desafortunadamente no pueden generar ninguna prueba en sus equipo si este no es adquirido por la empresa, por lo tanto la inversión para esta etapa del proceso lo hace poco probable ya que para la parte experimental comprar un equipo de ese precio para pruebas es costoso para la empresa (TREXEL, 2018).

3.5 EXPANCEL

Las microesferas Expancel son un aditivo que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones. Son partículas esféricas muy pequeñas formadas por una capa externa de plástico del mismo tipo en donde se va a utilizar con un gas encapsulado. Para expandirlas, se aplica calor con lo cual la presión interna del gas aumenta y la capa externa se ablanda produciendo un incremento en el volumen de las microesferas (Akzonobel, 2018).

3.5.1 Ventajas del Expancel

Reducción de costos

El peso o densidad de un material se pueden reducir incluso con cantidades muy pequeñas de microesferas en un porcentaje de entre 0.1% al 3 %; eso resultará en, por ejemplo, una reducción del costo por volumen, menos gastos de envío (Akzonobel, 2018).

Baja densidad

Expancel puede expandirse para reducir la densidad del producto hasta en un 50% del valor del polímero en su estado original.

3.5.2 Aislamiento

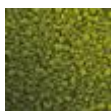
Incorporar Expancel a una matriz polimérica permite mejorar el aislamiento térmico y acústico. Además provoca la difracción la luz de forma eficiente lo que reduce la absorción de la luz del sol.

3.5.3 Compresibilidad

La alta resistencia de las microesferas les permite resistir varios ciclos de carga/descarga sin romperse. Eso las hace muy adecuadas para su uso en materiales que absorben los golpes (Akzonobel, 2018).

Las microesferas de Expancel existen en dos presentaciones, sin expandir o expandida, existen seis formas distintas, todas altamente sofisticadas y desarrolladas con fines distintos.

Expancel WU - Microesferas húmedas, no expandidas se usa en condiciones con alta humedad tal es caso de productos marítimos donde se necesita calor para causar la expansión de las microesferas en el producto. Por ejemplo, puede usarse en las capas inferiores de una alfombra para incrementar la fricción. El contenido sólido es de alrededor de un 70%.





Expancel WE - Microesferas húmedas, expandidas, se utiliza en condiciones con alta humedad como en productos marítimos tales como pinturas y rellenadores de grietas para reducir el peso y mejorar la aplicación. El contenido sólido es de alrededor de un 15%.



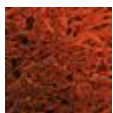
Expancel DU - Microesferas secas, no expandidas, se utiliza en productos a los que no se puede añadir agua, por ejemplo, en textiles no tejidos para mejorar el volumen y el grosor. Se necesita calor en el proceso para causar la expansión de las microesferas en el producto.



Expancel DE - Microesferas secas, expandidas, se usa entre otras cosas, en los revestimientos bajo la carrocería de los coches para reducir su peso.



Expancel SL - Microesferas dispersas en agua, es una dispersión de microesferas no expandidas en agua. El producto se usa en aplicaciones en las que es importante que el producto se disperse con facilidad. Por ejemplo, Expancel SL puede usarse en cartón o papel para mejorar su volumen y rigidez. Se necesita calor en el proceso para causar la expansión de las microesferas en el producto.



Expancel MB - Lote maestro, microesferas mezcladas, se utiliza en aplicaciones termoplásticas para mejorar la dispersión de las microesferas. Se necesita calor para causar la expansión de las microesferas en el producto.

3.6 ANÁLISIS DE ESPUMANTE

El uso de este tipo de ayudas de proceso permite tener un mejor control del proceso al monitorear y controlar un menor número de variables, ya que solo se modificará o variará los porcentajes de agente espumante. Después de investigar las ventajas de ambas tecnologías EXPANCEL y Mucell, se decidió que la mejor alternativa es plantear el análisis de experimentos con el EXPANCEL, ya que este es un aditivo compatible con el PVC, y cuya disponibilidad puede ser inmediata. Por contrario, en el caso del proceso MUCCELL, se requiere de una inversión para la adquisición de un equipo periférico cuyo precio en el mercado oscila entre \$30,000 a \$50,000 USD y está siendo utilizado en la industria automotriz para reducir el peso de piezas plásticas que se fabrican en

volúmenes muy altas en comparación de la producción que se tiene en nuestra planta, por lo cual el retorno de inversión sería a muy largo plazo y sin la garantía de que puedan hacerse pruebas previo a la compra del equipo, lo que lo vuelve inviable.

3.7 ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA EN PVC ESPUMADOS

El artículo "*Influences of water absorption on the properties of foamed poly(vinyl chloride)/rice hull composites*", nos ayuda a tomar en cuenta un punto muy importante que es la absorción de agua en PVC espumados (Pitidhamabhorn, 2013).

Al ser un producto que la gran mayoría de tiempo se usará para el transporte de agua será importante tomar en cuenta que tanto puede absorber agua este producto, ya que si resulta alto el porcentaje de absorción podrá dañar las características de nuestro producto.

Para poder calcular el nivel de absorción de agua en el PVC, se tomó un lapso de 0 a 90 días, con una variación en el porcentaje de espumante que se colocó al producto, se hizo una inmersión de PVC, antes de introducir la al agua fueron pesadas y después de iban pesando cada determinado tiempo, con el fin de obtener la diferencia de peso contra el original y así ver que tanta agua es absorbida por el material.

Se utilizó la siguiente fórmula para obtener el resultado.

$$\Delta M_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100$$

Ecuación 1

Donde m_0 representa la masa inicial y m_t representa la masa durante la inmersión.

También podemos obtener la densidad de las células volumétrica a través de la siguiente formula, esto es determinado con el uso de un microscopio de escaneo de electrones (SEM):

$$V_f = 1 - \frac{\rho_f}{\rho} \quad (2)$$

$$N_o = \left(\frac{nM^2}{A} \right)^{3/2} \left[\frac{1}{1-V_f} \right] \quad (3)$$

Ecuación 2

Con esto podemos obtener esta grafica que nos ayuda a visualizar que nivel de absorción tiene en base a la cantidad de espumante a través del tiempo.

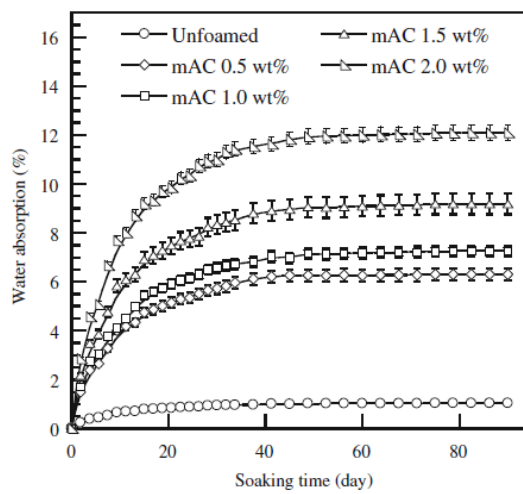


Figura 8 Absorción de agua (Pitidhammabhorn, 2013)

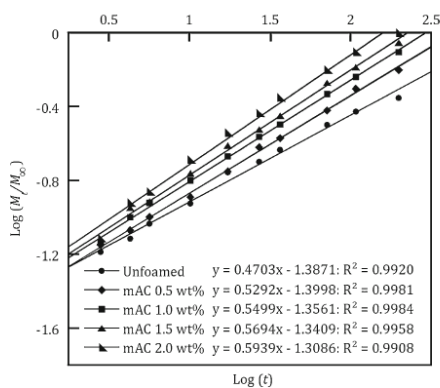


Fig. 4 Diffusion case fitting plots for the foamed PVC/rión hull composites at different levels of mAC

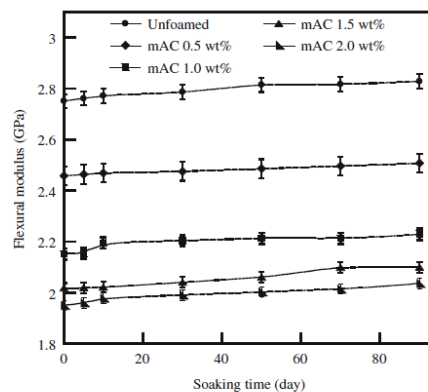


Fig. 5 Relationships between the flexural modulus and the soaking time with various mAC contents

Figura 9 Gráficas del comportamiento del PVC vs la absorción de agua (Pitidhammabhorn, 2013)

Por lo tanto, obtenemos la siguiente tabla de resultados.

Tabla 4 Densidad de las células con la absorción de agua con PVC espumado

mAC content (wt%)	Cell density (10^6 cells/cm ³)	Final water absorption at 90 days (%)
0.0	0.00±0.00	1.03±0.02
0.5	2.19±0.20	6.30±0.96
1.0	4.97±0.54	7.20±0.83
1.5	8.02±0.89	9.20±0.71
2.0	11.2±0.88	12.1±1.02

(Pitidhammabhorn, 2013)

Tabla 5 n, k y el coeficiente de difusión

Sample	Final water absorption (%)	n	k (h ²)	Fitting of experimental data	Diffusion coefficient (m ² /s)×10 ⁷
Unfoamed	1.03	0.470	0.041	y=0.4703x-1.3871	0.193
mAC, 0.5 wt%	6.30	0.529	0.040	y=0.5292x-1.3998	1.04
mAC, 1.0 wt%	7.25	0.550	0.044	y=0.5499x-1.3561	1.56
mAC, 1.5 wt%	9.17	0.569	0.456	y=0.5694x-1.3409	2.03
mAC, 2.0 wt%	12.1	0.504	0.491	y=0.5939x-1.3086	2.82

(Pitidhammabhorn, 2013)

Por lo tanto, el autor concluyo que Absorción máxima de agua se da en coeficiente más de difusión, cuando mAC (espumante) se aplicó a 2,0% en peso.

El mecanismo de absorción de agua en el compuesto espumado de PVC con cáscara de arroz siguió la cinética de la teoría de la difusión de Fick. Un ligero aumento tanto en el módulo de flexión y la fuerza se observó en todas las composiciones de espuma de PVC / arroz debido a la inclusión de algunos aditivos de PVC. La observación microscópica en la superficie de los materiales compuestos de espuma mostró abundantes aberturas de la superficie que son los que permiten el que se dé la absorción de agua.

Esto nos ayuda a saber que lo ideal será no rebasar el 1.5% de espumante para no tener un porcentaje superior del 10%, ya que arriba de este número

podríamos correr el riesgo de disminuir la vida útil del producto. Esto tomando en cuenta las recomendaciones de este artículo consultado.

4. USO DE UN POLÍMERO DISTINTO AL PVC, DE MENOR DENSIDAD VOLUMÉTRICA

De acuerdo a su importancia comercial por sus aplicaciones en el mercado, se encuentran los polímeros denominados COMMODITIES los cuales son (Blanco Vargas, Diplomado en plásticos, 2008):

Tabla 6 Código de Identificación en la NMX-E-232-SCFI-1999

Nombre	Abreviatura (opcional)	Número de identificación
Polietilentereftalato	PET o PETE	1
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE	2
Policloruro de vinilo o Vinilo	PVC	3
Polietileno de baja densidad	PEBD o LDPE	4
Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6

Elaboración propia

Se debe de seleccionar este tipo de plástico por el costo que estos representan, al considerar la manguera rural un producto fabricado con un plástico como el PVC, se debe de seguir en la misma línea de un polímero para la fabricación de commodities por el precio y facilidad del uso de reciclado del mismo.

4.1 SELECCIÓN DE POLÍMERO

Para realizar un análisis de selección de materia prima para la elaboración de un material que sustituya al PVC, es indispensable primero conocer la densidad volumétrica de los materiales más comunes y con base a esto seleccionar para el análisis de dicho estudio todos aquellos que tengan al menos un 20% de densidad volumétrica. El resultado de este análisis dio lo siguiente.

Tabla 7 Clasificación por densidad volumétrica

NO	Material	Densidad	Diferencia en D.V. vs PVC	NOTAS
1	Polipropileno	0.90	36%	Densidad volumétrica menor al PVC
2	Polietileno	0.94	33%	
3	Poliamida 12	1.01	28%	
4	Poliamida 11	1.03	26%	
5	Poliestireno	1.06	24%	
6	Poliamida 6-10	1.08	23%	
7	Poliamida 6-6	1.13	19%	
8	Poliamida 6	1.15	18%	
9	Poliacetato de vinilo	1.18	16%	
10	Policarbonato	1.20	14%	
11	Poliuretano	1.20	14%	
12	Polivinil acetal	1.25	11%	
13	Tereftalato de Polietileno	1.38	1%	
14	Policloruro de vinilo	1.40	0%	Densidad Volumétrica PVC
15	Acetal	1.42	-1%	Densidad Volumétrica Mayor al PVC

Elaboración propia

Con este análisis nos damos podemos observar en la tabla 5 que solo 6 de los 15 materiales seleccionados pueden brindar una densidad volumétrica de al menos un 20% por debajo del PVC.

- Polipropileno
- Polietileno
- Poliamida 12
- Poliamida 11
- Poliestireno
- Poliamida 6-10

La siguiente etapa es revisar las durezas de estos materiales, con el fin de poder seleccionar el que más se asemeje al PVC.

Las durezas que se ocupan para la fabricación de manguera rural son muy importantes ya que estas ayudan a tener un radio de curvatura determinado

en el caso del PVC Flexible, en el caso del PVC Rígido debe de ser lo suficientemente rígido para evitar que la manguera se colapse cuando esta succionando agua esta debe soportar la presión de vacío que se puede observar en la tabla 7, es por eso, que normalmente se utiliza un anti shock para evitar este tipo de falla. Las durezas elegidas para este producto son:

Tabla 8 Dureza de PVC utilizados para la fabricación de manguera rural

PVC	DUREZA	ESCALA
PVC VERDE FLEXIBLE	65	SHORE A
PVC NATURAL RIGIDO	80	SHORE D

Elaboración propia

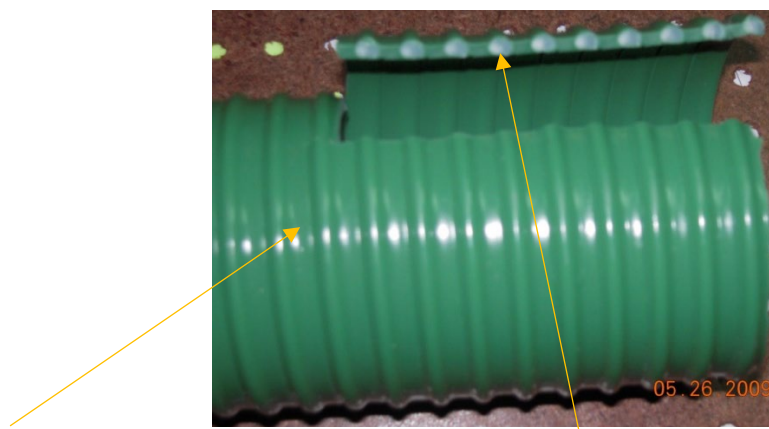
Es importante también cuidar que se conserven las especificaciones que debe cumplir la manguera, las cuales están indicadas en la tabla 9 que se muestra a continuación.

Tabla 9 Especificación de la manguera rural

DIÁMETRO		PRESIÓN DE TRABAJO		PRESIÓN DE VACIO	PESO TEÓRICO	RADIO DE CURVATURA	LONG ROLLO	PESO TOTAL x ROLLO
Pulgadas	mm	Kg/cm ²	lb/in ²	mm Hg	kg/m	mm	M	Kg
½"	12.7	10	150	760	0.180	70	30	5.4
5/8"	16.0	10	150	760	0.220	80	30	6.6
¾"	19.1	7	100	760	0.300	100	30	9.0
7/8"	22.2	7	100	760	0.350	110	30	10.5
1"	25.4	7	100	760	0.400	120	30	12.0
1" ¼"	31.8	6	85	760	0.480	160	30	14.4
1" ½"	38.1	6	85	760	0.580	200	30	17.4
2"	50.8	5	70	760	0.850	250	30	25.5
2" ½"	63.5	5	70	760	1.100	320	30	33.0
3"	76.2	4.5	65	760	1.400	440	30	42.0
3" ½"	88.9	4.5	65	760	1.840	520	30	55.2
4"	101.6	4.5	65	760	2.200	620	30	66.0
5"	127.0	3.5	50	760	3.200	760	20	64.0
6"	152.4	3.5	50	760	4.300	820	20	86.0
8"	203.2	2.5	40	760	6.500	1,120	10	65.0

Elaboración propia

Con estos datos deberemos seleccionar los polímeros que pueden cumplir con la dureza tanto del PVC rígido, así como del Flexible, ya que este producto está fabricado en un 50% con PVC flexible y el otro 50% con PVC rígido, lo cual se puede observar si se hace un corte seccional de la manguera.



PVC FLEXIBLE (color Verde)

PVC RIGIDO (color Blanco)

Figura 10 Estructura de manguera rural

Elaboración propia

Considerando solo aquellos polímeros que tienen una densidad volumétrica menor en al menos un 20%, se toma en cuenta la dureza que estos tienen dando como resultado la siguiente tabla 8.

Tabla 10 Dureza de los polímeros con 20% menor densidad volumétrica contra el PVC

No	Material	Densidad	Diferencia en D.V. vs PVC	DUREZA	ESCALA
1	Polipropileno	0.90	36%	72 A 74	SHORE D
2	Polietileno de alta densidad	0.94	33%	62 a 66	SHORE D
3	Polietileno de baja densidad	0.92	34%	41-46	SHORE D
4	Poliamida 12	1.01	28%	62-70	SHORE D
5	Poliamida 11	1.03	26%	62-70	SHORE D
6	Poliestireno	1.06	24%	85-90	SHORE D
7	Poliamida 6-10	1.08	23%	72-76	SHORE D
8	Poliamida 6-6	1.13	19%	72-76	SHORE D
9	Poliamida 6	1.15	18%	72-76	SHORE D

Elaboración propia

Revisando la información anterior, se observa que por las características, que se tienen en el mercado de polímeros disponibles para la fabricación de manguera por medio de extrusión, no existe otro polímero en la categoría de los commodities que pueda sustituir al PVC, y que además pueda cumplir con al menos las mismas características de Dureza que este poseé, por lo cual se da por descartado la fabricación de la manguera de succión tipo rural con el uso de otra materia prima.

Con base a la información recabada se concluye que la metodología se realizará usando el método de espumantes con el uso del aditivo desarrollado por EXPANCEL, ya que este material se usa como un aditivo que se puede adicionar al proceso actual sin necesidad de modificar el equipo y de reducir los gastos para las pruebas iniciales.

En el siguiente capítulo podremos observar la metodología de trabajo que llevaremos a cabo para la implementación del espumante EXPANCEL a la manguera rural.

Hasta este punto la única alternativa que hemos encontrado viable es el uso de espumantes para cumplir el objetivo de esta investigación, que es la disminución en la densidad de la manguera de PVC tipo Rural, si tomamos como referencia los objetivos específicos planteados con anterioridad este trabajo se enfocara en la opción A, el cual es el uso de aditivos para lograr la disminución volumétrica a través del espumante Expancel, la alternativa B "Reemplazar el PVC por otro material de menor densidad" o se podrá cubrir de acuerdo a lo mencionado en esta sección.

5. RESULTADOS

Con el objetivo de reducir la densidad de la manguera rural para riego de PVC se plantea la siguiente metodología a seguir (Taha, 2012).

5.1 DISMINUCIÓN POR ESPUMANTE TIPO EXPANCEL

La primera opción será usar aditivos que permitan que la densidad volumétrica del PVC utilizado se reduzca en al menos 20% del peso actual, los más adecuado para este proceso son los espumantes controlados el cual por medio de gas ocupan espacio dentro de la estructura y por medio de esto reducen la densidad del producto sin provocar alguna falla. Se realizarán pruebas con el fin de cumplir con las especificaciones de la manguera, la cual, debe de cumplir al menos las siguientes:

PRESIÓN DE TRABAJO: 90 PSI a 25°C.

PRESIÓN DE VACIO: 1 ATM = 760 mm de Hg

TEMPERATURA DE TRABAJO: Desde -10°C hasta 60°C.

Será necesario hacer también un análisis de la eficiencia del espumante en función de la cantidad utilizada del espumante, su costo y el % de disminución de la densidad. Para el uso de espumante se recomienda un porcentaje que va desde el 0.5% hasta el 2% por lo cual en nuestro diseño de experimentos se está planteando poner el porcentaje de espumante solo en la parte del PVC flexible ya que si es puesto en el área del PVC Rígido, por el tipo de construcción que se tiene en la manguera el PVC rígido funge como la estructura ósea, si a esta parte le añadimos espumante provocaríamos un efecto tipo Osteoporosis, lo cual haría la estructura más débil y podría fallar sobre todo cuando esta haga la función de succión y colapsar prematuramente.

Se plantea hacer un porcentaje tomando como base la Tabla 9.

Tabla 11 Datos Diagrama de Gantt

FACTOR	DESCRIPCION	NIVEL 1	NIVEL 2
A	TIPO DE RESINA	TIPO 1	TIPO 2
B	CONCENTRACION DE ESPUMANTE	1%	1.50%
C	TIEMP DE CICLO DE EXTRUSION	10 seg	15 seg
D	PORCENTAJE DE PIGMENTACION	3%	5%
E	VELOCIDAD DE MANDRIL	800 RPM	900 RPM

Elaboración propia

5.2 COSTO BENEFICIO

Como ya se mencionó, el objetivo de este proyecto será plantear una alternativa para disminuir en un 20% el peso de la manguera a través de la reducción de la densidad volumétrica de la materia prima. Si la disminución de ahorro en peso es justificable con el incremento en el costo de la formulación de la materia prima por la adición del espumante.

En la tabla 12 encontraremos los costos reales actuales de manguera rural, y en la tabla 13 y 14 podremos observar los costos de materia prima actuales sin el uso de espumante en el material flexible y el costo del producto anexado el espumante.

Tabla 12 Comparativa de costos de materia prima

REDUCCION DE PESO	
PRECIO PVC ACTUAL	\$ 19.31
PRECIO ADITIVO (ESPUMANTE)	\$ 179.00
PORCENTAJE DE ADICION	1.50%
COSTO DE PVC CON ESPUMANTE	\$ 22.00
INCREMENTO EN PRECIO	13.90%

Elaboración propia

Tabla 13 Costo de fabricación sin espumante

COSTO DE FABRICACION DE MANGUERA RURAL SIN ESPUMANTE				
COSTO MANGUERA SIN ESPUMANTE		COSTO M.P		\$19.31
CODIGO	DESCRIPCION	Kg X Rollo	Valor Total M.P.	Rollo T.P.C.
1072VE0750CS	GREENFLEX VERDE 3/4"	8.6	\$166.07	\$330.47
1072VE1000CS	GREENFLEX VERDE 1"	11.17	\$215.69	\$429.23
1072VE1250CS	GREENFLEX VERDE 1 1/4"	13.8	\$266.48	\$530.29
1072VE1500CS	GREENFLEX VERDE 1 1/2"	16.82	\$324.79	\$646.34
1072VE2000CS	GREENFLEX VERDE 2"	24	\$463.44	\$922.25
1072VE2500CS	GREENFLEX VERDE 2 1/2"	36.28	\$700.57	\$1,394.13
1072VE3000CS	GREENFLEX VERDE 3"	44	\$849.64	\$1,690.78
1072VE3500CS	GREENFLEX VERDE 3 1/2"	61.4	\$1,185.63	\$2,359.41
1072VE4000CS	GREENFLEX VERDE 4"	73	\$1,409.63	\$2,805.16
1072VE5000BS	GREENFLEX VERDE 5"	63.41	\$1,224.45	\$2,436.65
1072VE6000BS	GREENFLEX VERDE 6"	96.84	\$1,869.98	\$3,721.26
1072VE8000AS	GREENFLEX VERDE 8"	72.5	\$1,399.98	\$2,785.95

Elaboración propia

Tabla 14 Costo de fabricación con espumante

COSTO DE FABRICACION DE MANGUERA RURAL CON ESPUMANTE						
COSTO MANGUERA CON ESPUMANTE				COSTO M.P	\$22.00	
CODIGO	DESCRIPCION	Kg X				
CODIGO	DESCRIPCION	Rollo	Valor	Rollo	AHORRO	AHORRO
1072VE0750CS	GREENFLEX VERDE 3/4"	6.88	Total M.P.	T.P.C.	KG	TOTAL
1072VE1000CS	GREENFLEX VERDE 1"	8.94	\$151.36	\$301.21	20%	9%
1072VE1250CS	GREENFLEX VERDE 1 1/4"	11.04	\$196.59	\$391.22	20%	9%
1072VE1500CS	GREENFLEX VERDE 1 1/2"	13.46	\$242.88	\$483.33	20%	9%
1072VE2000CS	GREENFLEX VERDE 2"	19.2	\$296.03	\$589.10	20%	9%
1072VE2500CS	GREENFLEX VERDE 2 1/2"	29.02	\$422.40	\$840.58	20%	9%
1072VE3000CS	GREENFLEX VERDE 3"	35.2	\$638.53	\$1,270.67	20%	9%
1072VE3500CS	GREENFLEX VERDE 3 1/2"	49.12	\$774.40	\$1,541.06	20%	9%
1072VE4000CS	GREENFLEX VERDE 4"	58.4	\$1,080.64	\$2,150.47	20%	9%
1072VE5000BS	GREENFLEX VERDE 5"	50.73	\$1,284.80	\$2,556.75	20%	9%
1072VE6000BS	GREENFLEX VERDE 6"	77.47	\$1,116.02	\$2,220.87	20%	9%
1072VE8000AS	GREENFLEX VERDE 8"	58	\$1,704.38	\$3,391.72	20%	9%

Elaboración propia

Con esto podemos ver que el costo de la materia prima se eleva en un 14%, la disminución en un 20% del peso total del producto nos hace tener un ahorro en la fabricación de un 9% que será convertido en automático en un incremento del margen de utilidad con respecto al precio de venta.

Con el uso de Expancel es necesario comprobar el resultado satisfactorio de este aditivo tendremos que realizar las siguientes pruebas para conservar al menos las características que tiene el producto previo a su modificación.

5.3 PRUEBAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MATERIA PRIMA

Con el fin de hacer un análisis exhaustivo al adicionar a la formulación del PVC el espumante y evitar el que este provoque una falla mecánica en el producto se han seleccionado pruebas de laboratorio que avalen el uso adecuado y desempeño del mismo.

Las pruebas que fueron seleccionadas para este proyecto son:

5.3.1 Identificación de estructura química por FTIR

La espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) es una técnica empleada para obtener la huella dactilar molecular de una muestra biológica que absorbe la onda infrarroja de acuerdo con los enlaces químicos y estructurales de las moléculas (Barraza-Garza, 2013).

5.3.2 Índice de fluidez

Determina la relación de flujo de masa MFR y la tasa de flujo de volumen MFV (Morton-Jones, 2006).

5.3.3 Reología capilar

La Reología es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de los materiales. Aunque esta definición es muy general, la Reología estudia principalmente fluidos que están formados por macromoléculas o que tienen estructura y que se conocen con el nombre genérico de fluidos no newtonianos o fluidos complejos (Morton-Jones, 2006).

5.3.4 Propiedades en tensión

Tensión es la reacción que se produce en el interior de la pieza a ensayar, cuando sobre ésta se aplica una carga. La tensión es siempre de la misma magnitud y de sentido contrario a la carga aplicada. Se mide en Pascales, que es la tensión que genera una carga de un Newton de fuerza aplicada sobre una superficie de un metro cuadrado. Esta unidad suele ser muy pequeña para medir las tensiones a las que están sometidos los materiales, por lo que también se suele utilizar el megapascal (Mp un millón de veces mayor). En ocasiones se utiliza el Kg/cm² (Ongarato, 2019).

Según el punto de aplicación, la dirección y el sentido de la carga podemos diferenciar tres tipos de tensión: tensión de tracción, tensión de compresión y tensión tangencial.

5.3.5 Resistencia al impacto caída libre

La resistencia al impacto de los plásticos se mide comúnmente mediante pruebas en las que se permite que un péndulo con un borde de impacto masivo golpee la muestra. A partir del desplazamiento del péndulo después de romper el espécimen, la resistencia al impacto se puede calcular como la energía requerida para provocar la ruptura. El espécimen de plástico a menudo se muesca en un esfuerzo por mejorar la reproducibilidad del modo de falla.

Las pruebas de impacto comúnmente utilizadas para materiales rígidos son las Izod (ASTM D256) y Charpy (ASTM D256) y para estructuras flexibles, se utiliza el impacto con caída libre de dardo (ASTM D3029) y resistencia al impacto de péndulo (ASTM D3420) (Polímeros, 2017).

5.3.6 Dureza shore A y D

Los elastómeros termoplásticos se miden en Shore A y Shore D según ISO 868. La dureza Shore es una medida de la resistencia de un material a la penetración de una aguja bajo una fuerza de resorte definida. Se determina como un número de 0 a 100 en las escalas A o D. Cuanto mayor sea el número, mayor será la dureza. La letra A se utiliza para los tipos flexibles y la letra D para los tipos rígidos. Sin embargo, los rangos se superponen. Este gráfico muestra una

comparación de las escalas Shore de dureza A y D para materiales de Aylon 52 TPU. La dureza de la orilla se reduce a medida que aumenta la temperatura (Elastomers Products Corporation , 2018).

5.3.7 Temperaturas de transición (temperatura de fusión y temperatura de transición vítrea)

Se define como la temperatura a la cual el polímero o elastómero adquiere propiedades características de estado vítreo como fragilidad, rigidez y rigidez (al enfriarse). Esta temperatura (medida en °C) depende de la estructura química del polímero y por lo tanto, puede usarse para identificar polímero o elastómero. Es la temperatura en el cual un polímero cambia de un estado rígido y quebradizo a otro blando y maleable, está presente sólo en polímeros amorfos y es diferente para cada polímero, esta la temperatura de transición se conoce como temperatura de la transición vítrea (T_g). La transición vítrea es una propiedad típica de la porción amorfa de un sólido semicristalino. Los polímeros amorfos solo exhiben una T_g , los polímeros cristalinos exhiben un T_m (temperatura de fusión) y típicamente una T_g ya que generalmente también hay una porción amorfa (semi-cristalinas). El valor de T_g depende de la movilidad de la cadena de polímero (Mexpolimeros, 2020).

5.3.8 Grado de cristalinidad

En los polímeros con tendencia a la cristalinidad, sus cadenas o parte de ellas pueden agruparse de manera ordenada dando origen a regiones cristalinas, mientras que las secciones desordenadas forman regiones amorfas. Los polímeros que presentan ambos tipos de regiones, es decir que son parcialmente cristalinos, se denominan semicristalinos. Por otra parte, aquellos cuyas moléculas están en total desorden se les denominan amorfos. Dentro de los primeros se encuentran las poliamidas, los poliésteres y los polietilenos, mientras que en los segundos están el hule natural, las resinas fenólicas y los copolímeros de estireno como el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) (Coreño-Alonso, 2010).

5.3.9 Temperatura de degradación

La degradación térmica se puede definir como el proceso mediante el cual la acción de la temperatura provoca una pérdida de propiedades del material, que pueden ser tanto físicas como químicas. Es necesario puntualizar que cualquier polímero es susceptible de sufrir degradación a determinadas temperaturas, si bien los valores a los cuales ésta se produce, varían mucho entre sí. El calor puede proporcionar la energía suficiente para romper los enlaces de la cadena principal del polímero, ruptura que se produce principalmente por las irregularidades estructurales presentes en el mismo, por lo que su cantidad y posición relativa determinarán su estabilidad (Mexpolimeros, 2020).

5.3.10 Permeabilidad a vapor de agua (WVTR)

Para evaluar la permeabilidad al vapor de agua (WVP) se seleccionó el método desecante de la técnica gravimétrica de la ASTM E-96,88, modificada por Mc-Hugh y colaboradores en 1993, en la cual indirectamente se obtiene la permeabilidad cuantificando el índice de movimiento de vapor de agua a través de la película mediante los cambios de peso debido a la transferencia de humedad. En esta técnica se cuenta con dos cámaras: la de ambientación y la de prueba, previo a la determinación de la WVP fue necesario realizar la implementación de ambas cámaras (Barraza-Garza, 2013).

6 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS

6.1 DISEÑO ORTOGONALES DE TAGUCHI FRACCIONADOS

El diseño de experimentos es una aplicación del método científico para generar conocimiento sobre un proceso o sistema a través de pruebas planificadas adecuadamente (Anderson D., 2016). Esta metodología se ha fortalecido como un conjunto de técnicas estadísticas y herramientas de ingeniería para ayudar a comprender situaciones complejas de causa y efecto expresado en la Tabla 15 (Naranjo-Palacios, abril-junio 2020).

Tabla 15 Arreglos ortogonales

FACTORES (c)				
No. (a)	A	B	C	Resultado
1	1	1	1	Y1
2	1	2	2	Y2
3	2	1	1	Y3
4	2	2	1	Y4

1 , 2 = Niveles de los Factores (b)

Elaboración propia

Existen dos enfoques principales para realizar experimentación, el enfoque clásico y el enfoque de Taguchi. Los diseños de Taguchi son diseños ortogonales que se especializan en estimar efectos principales e interacciones de control por ruido, dejando en segundo plano las interacciones de control por control. Los arreglos ortogonales de Taguchi fueron diseñados de tal manera que un arreglo específico puede ser utilizado para diferentes números de factores. De acuerdo con la notación empleada por Taguchi al arreglo mostrado como ejemplo, se le llama un arreglo L4, por tener cuatro renglones. En general, para un arreglo a dos niveles, el número de columnas (efectos o factores) que se pueden analizar, es igual al número de renglones menos 1.

Taguchi ha desarrollado una serie de arreglos para experimentos con factores a dos niveles, los más utilizados y difundidos según el número de factores a analizar son mostrados en la Tabla 16:

Tabla 16 Arreglos para experimentos con factores a dos niveles

No. de factores a analizar	Arreglo a utilizar	No. de condiciones a probar
Entre 1 y 3	L4	4
Entre 4 y 7	L8	8
Entre 8 y 11	L12	12
Entre 12 y 15	L16	16
Entre 16 y 31	L32	32
Entre 32 y 63	L64	64

Elaboración propia

Si se desea analizar el efecto del espumante, es necesario variarlos, esto es probarlos bajo diferentes valores cada uno. A cada uno de estos valores se les llama nivel. Se requieren de al menos dos niveles o valores distintos para cada factor. A uno de ellos le llamamos nivel bajo o nivel "1" que es aquel que se compra en polvo y que será introducido en el proceso de fabricación de la materia prima, al otro nivel alto o nivel "2". Será el espumante en forma de Pellet que será introducido durante la extrusión de la manguera.

Por lo tanto, se realizará la fabricación de la manguera utilizando el espumante Expancel **920-120** para PVC el cual será mezclado con PVC en distintitos niveles de concentración, por lo cual llamaremos resina tipo 1 con una concentración de 1% y la Resina 2 con una concentración de 1.5% como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17 Factores y su descripción

DESCRIPCIÓN	NIVEL 1	NIVEL 2
TIPO DE RESINA	TIPO 1	TIPO 2
CONCENTRACION DE ESPUMANTE	1%	1.50%
TIEMPO DE CICLO DE EXTRUSION	10 seg	15 seg
PORCENTAJE DE PIGMENTACION	3%	5%
VELOCIDAD DE MANDRIL	800 RPM	900 RPM

Elaboración propia

En este caso estamos interesados en analizar el efecto de 5 efectos o factores a dos niveles cada uno, por lo tanto, se usará un arreglo ortogonal L8. Esto implica que se ejecutarán 8 pruebas o condiciones experimentales. Por otra parte, se disponen de 7 columnas, a cada columna se le puede asignar o asociar un factor. Si en particular, asignamos los factores en orden a las primeras cinco Columnas, dejando libres las últimas dos columnas, el arreglo queda. Estamos considerando los factores que podemos modificar durante el proceso de fabricación de nuestro producto, a mayor concentración de espumante deberá ser mayor el tiempo de extrusión, para poder aprovechar el factor espumante en la materia prima, una vez que se controle el espumado esto ocasionara dos factores, el espumado produce una transparencia dentro del PVC al generar burbujas de aire dentro del PVC, por ende entre mayor sea el espumado mayor deberá ser la cantidad de pigmento para evitar variación en el color y al tener mayor espumado, el grosor del PVC aumentara por lo tanto deberá de correr el mandril a mayor velocidad para conservar el mismo espesor que se tiene dentro de las tabla 16 de especificación del producto.

Tabla 18 Tablas de especificación del producto

NO.	A	B	C	D	E	e1	e2	RESINA	Concen.	Tiempo	Pigm.	RPM	Yi
1	1	1	1	1	1	1	1	TIPO 1	1.0%	10 seg.	3%	800	Yi1
2	1	1	1	2	2	2	2	TIPO 1	1.0%	10 seg.	5%	900	Yi2
3	1	2	2	1	1	2	2	TIPO 1	1.5%	15 seg.	3%	800	Yi3
4	1	2	2	2	2	1	1	TIPO 1	1.5%	15 seg.	5%	900	Yi4
5	2	1	2	1	2	1	2	TIPO 2	1.0%	15 seg.	3%	900	Yi5
6	2	1	2	2	1	2	1	TIPO 2	1.0%	15 seg.	5%	800	Yi6
7	2	2	1	1	2	2	1	TIPO 2	1.5%	10 seg.	3%	900	Yi7
8	2	2	1	2	1	1	2	TIPO 2	1.5%	10 seg.	5%	800	Yi8

TOTAL= 2.64

Elaboración propia

Observe que, en las columnas vacías, 6 y 7, se ha escrito la letra e₁, y e₂ respectivamente esto para indicar que en ellas se evaluará la variación natural o error aleatorio.

Si no se asigna ningún factor, es de esperar que ahí se manifieste la variación natural. Los resultados de Yi se muestran en ppm. El análisis de resultados se

puede efectuar de dos maneras diferentes. Una de ellas mediante una serie de gráficas, la otra mediante el análisis de varianza, se muestra el uso del análisis de varianza planteado ya que el alcance en este proyecto no nos permitirá llegar a la parte experimental y se deja planteado en cuanto este se pueda llevar a cabo.

6.2 DIAGRAMA DE GANTT ANALÍTICO

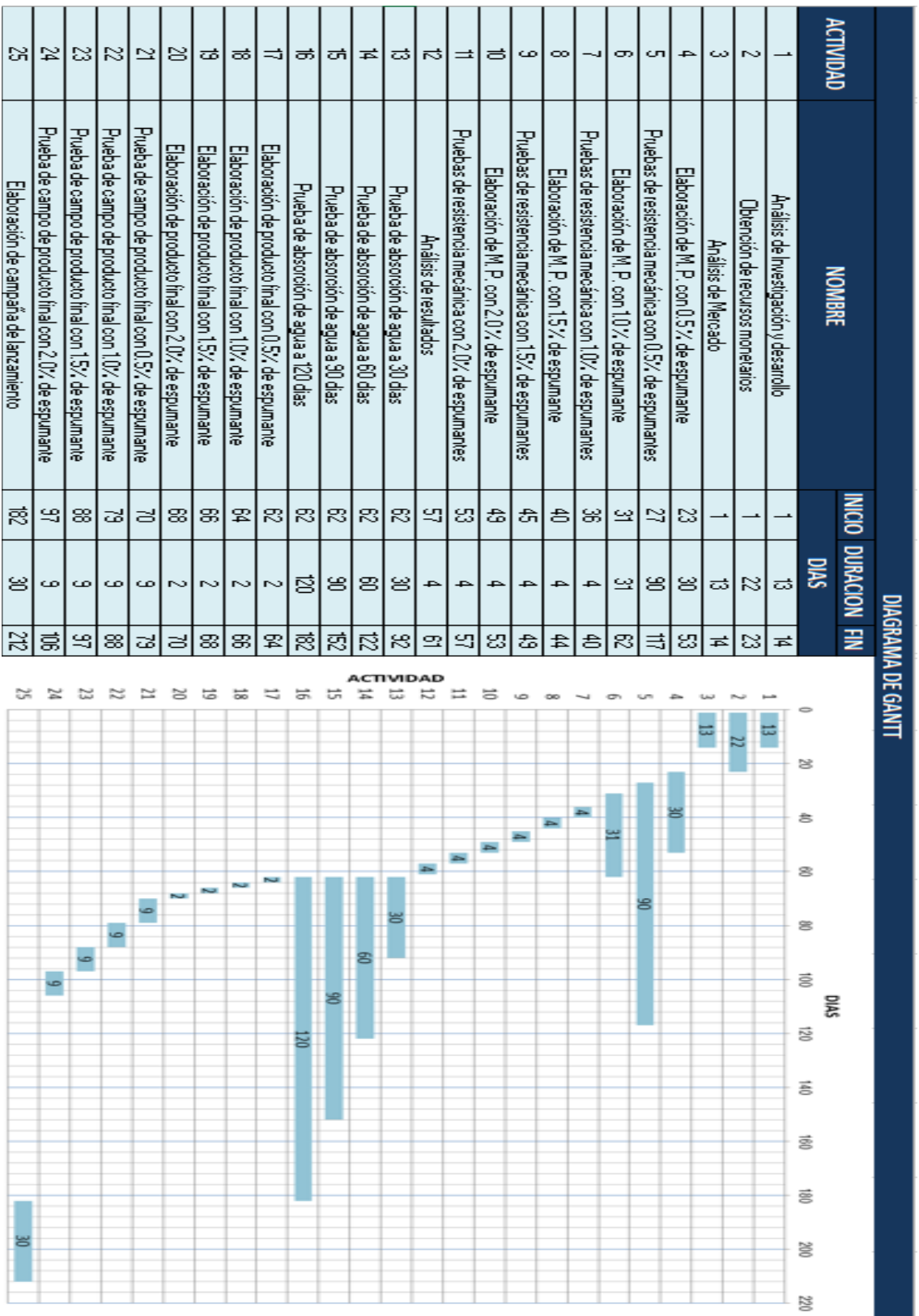
Tabla 19 Actividades diagrama de Gantt

ACTIVIDAD	NOMBRE	INICIO	DURACION	FIN
		DIAS		
1	Análisis de Investigación y desarrollo	1	13	14
2	Obtención de recursos monetarios	1	22	23
3	Análisis de Mercado	1	13	14
4	Elaboración de M. P. con 0.5 % de espumante	23	30	53
5	Pruebas de resistencia mecánica con 0.5% de espumantes	27	90	117
6	Elaboración de M. P. con 1.0 % de espumante	31	31	62
7	Pruebas de resistencia mecánica con 1.0% de espumantes	36	4	40
8	Elaboración de M. P. con 1.5 % de espumante	40	4	44
9	Pruebas de resistencia mecánica con 1.5% de espumantes	45	4	49
10	Elaboración de M. P. con 2.0 % de espumante	49	4	53
11	Pruebas de resistencia mecánica con 2.0% de espumantes	53	4	57
12	Análisis de resultados	57	4	61
13	Prueba de absorción de agua a 30 días	62	30	92
14	Prueba de absorción de agua a 60 días	62	60	122
15	Prueba de absorción de agua a 90 días	62	90	152
16	Prueba de absorción de agua a 120 días	62	120	182
17	Elaboración de producto final con 0.5% de espumante	62	2	64
18	Elaboración de producto final con 1.0% de espumante	64	2	66
19	Elaboración de producto final con 1.5% de espumante	66	2	68
20	Elaboración de producto final con 2.0% de espumante	68	2	70
21	Prueba de campo de producto final con 0.5% de espumante	70	9	79
22	Prueba de campo de producto final con 1.0% de espumante	79	9	88
23	Prueba de campo de producto final con 1.5% de espumante	88	9	97
24	Prueba de campo de producto final con 2.0% de espumante	97	9	106
25	Elaboración de campaña de lanzamiento	182	30	212

Elaboración propia

En caso de que las pruebas del diseño de experimentos resulten favorables, se comprara un lote de Expancel **920-120** para PVC, para fabricar un lote de mangueras en 2 y 3 pulgadas considerando producir 30 piezas de cada medida como prueba piloto que se mandara a prueba de campo con clientes previamente seleccionados para un puntual seguimiento de los resultados y saber el desempeño que el producto tendrá con el uso.

Tabla 20 Cronograma de actividades



Elaboración propia

7. CÁLCULO DE DENSIDAD VOLUMÉTRICA

El trabajo de poder realizar una prueba de cálculo de densidad volumétrica la pudimos realizar gracias a una muestra de laboratorio controlada que se pudo realizar en las oficinas del fabricante el espumante.

Se realizó un pequeño probeta de material espumado con el espumante EXPANCEL 920-120 a una cantidad de 2.6%, que es la máxima recomendada.

Se obtiene el siguiente resultado usando la Fórmula de Densidad Volumétrica expresada en la Tabla 21.

Tabla 21 Cálculo de densidad volumétrica

CALCULO DE DENSIDAD VOLUMENTRICA					
CONDICIONES					
DENSIDAD ORIGINAL PVC:	1.2	g/cm3			
PORCENTAJE EXPANCEL	2.60	%			
ANCHO (A)	72.73	mm	=	7.27	cm
LARGO (B)	97.8	mm	=	9.78	cm
ESPESOR (C)	5.25	mm	=	0.53	cm
VOLUMEN					
A * B * C =	37343.22	mm3	=	37.34	cm3
masa	31	gr			
Densidad del PVC con ESPUMANTE					
ρ	=	$\frac{\text{masa}}{\text{Volumen}}$	=	$\frac{31}{37.34}$	= 0.83 g/cm3
REDUCCION DE DENSIDAD		30.8%			

Elaboración propia

Se debe considerar que si podemos poner la cantidad de espumante máxima podemos reducir la densidad en un 30.8%, lo cual supera las expectativas, cabe recordar que si tomamos en consideración que un material espumado puede absorber mayor cantidad de agua debemos irnos a un porcentaje menor para evitar que este funcione como una esponja y el peso de la manguera suba por el simple hecho de la absorción de agua durante su trabajo. El anexo 1 de este trabajo nos recomienda que el espumante no debe de exceder del 1.5% para evitar que este tenga absorción, por lo tanto, las pruebas de espumado se llevaran a cabo con el 1.5% y con base a esto podemos obtener la disminución en un 20% como se esperaba. Anexo algunas fotos de la probeta que se fabricó

en conjunto con AKZO NOBEL, en el laboratorio de pruebas utilizando en su momento un molino Bunbury mixer y así fabricar el prototipo que se utilizó para estimar la densidad volumétrica.



Figura 11 Ancho de la probeta

Elaboración propia



Figura 12 Espesor de la probeta

Elaboración propia



Figura 13 Largo de la probeta

Elaboración propia



Figura 14 Peso de la probeta

Elaboración propia

8 ANÁLISIS FINANCIERO

8.1 INVERSIÓN INICIAL EN PRUEBAS DE LABORATORIO

Una parte importante de nuestro análisis de experimentos será realizar las pruebas de laboratorio pertinentes.

En base a las recomendaciones realizadas por el laboratorio de CIATEQ el cual, se recomendó realizar 7 pruebas de laboratorio que nos ayudaran a tener un soporte sustentable de la mejora que se quiere obtener en la reducción de la densidad volumétrica de nuestra manguera rural, que como lo hemos mencionado antes representa una fuente importante de ingresos para la compañía.

Los costos fueron otorgados por CIATEQ y serán realizadas en esta institución por fines prácticos y académicos, a continuación se mencionan los costos por prueba expresados en la Tabla 22, por cada tipo de resina se ocupan hacer la pruebas sugerida y hacer un cuadro comparativo después de recibir los resultados

Las pruebas a realizar serán las siguientes:

Tabla 22 Costos de pruebas de laboratorio

Prueba	Costo Unitario(M.N)	NO. DE PRUEBAS		TOTAL
		RESINA TIPO 1	RESINA TIPO 1	
Colorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	\$ 2,000.00	1	1	\$ 4,000.00
Análisis Termogravimétrico (TGA)	\$ 2,000.00	1	1	\$ 4,000.00
Tensión	\$ 2,000.00	1	1	\$ 4,000.00
Flexión	\$ 2,000.00	1	1	\$ 4,000.00
Compresión	\$ 2,000.00	1	1	\$ 4,000.00
Impacto Multiaxial	\$ 1,800.00	1	1	\$ 3,600.00
FTIR	\$ 1,500.00	1	1	\$ 3,000.00
Total	\$ 13,300.00	Gran Total		\$ 26,600.00

Elaboración propia

Técnicas de caracterización

Las pruebas para caracterización de los compuestos se dividen en pruebas térmicas, las cuales son calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico y las pruebas mecánicas, que son ensayo de tensión y ensayo de impacto. La estructura y composición se analizaron por FTIR (Villar).

Caracterización por FTIR

Se caracterizaron las mezclas obtenidas por medio de un Espectrofotómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) marca Perkin Elmer modelo SpectrumOne, se corrió la muestra en un ATR con punta de ZnSe con una resolución de 4 cm⁻¹ y el número de escaneos fue de 12.

Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Todos los compuestos caracterizaron mediante calorimetría diferencial de barrido para determinar de fusión y el % de cristalinidad. Los datos de estabilidad térmica se obtienen con un analizador termogravimétrico TA Instruments Q600 (New Castle, DE, EE. UU.) bajo atmósfera de argón a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, aplicando 1 ciclo de calentamiento. El ciclo de calentamiento, se llevó a cabo de temperatura ambiente a 200°C.

Análisis Termo-Gravimétrico (TGA)

Se realizaron análisis termogravimétrico para determinar cambios producidos en las temperaturas de descomposición de los compuestos. Los datos de estabilidad térmica se obtuvieron en condiciones de temperatura lineal, donde la temperatura aumenta de 30 °C a 600 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Se usaron porta muestras de aluminio, una atmósfera de argón con un caudal de gas de 50 ml/min. Las curvas TG y derivativas (DTG) expresan la tasa de pérdida de peso en función de la temperatura.

Ensayo de tensión

Las probetas para las pruebas de tensión fueron preparadas y probadas basadas en la Norma ASTM D638 (2010), usando un sistema de prueba de materiales MTS 810 con un extensómetro MTS para medir la tensión. Se prepararon cinco especímenes de cada una de las muestras para determinar el módulo de Young, porcentaje de elongación, resistencia máxima a la tracción y resistencia a la rotura.

Ensayo de impacto

Los materiales compuestos se analizaron mediante pruebas de impacto Izod con muescas según la Norma ASTM D256 (2010). En esta prueba se utilizó el péndulo "Tinius Olsen, Model Impact 503".

Con esta inversión en pruebas de laboratorio veremos si el espumado que se realizarán en la materia prima de nuestra manguera de succión en la parte de PVC FLEXIBLE, conserva o mejora sus condiciones actuales y sobre todo se tiene la disminución de densidad, con el fin de reducir el peso total del producto en al menos un 20%. Una vez que estas pruebas se logren satisfactoriamente se realizara la campaña de lanzamiento a nivel nacional y poder patentar esta nueva tecnología que nos garantice al menos la exclusividad en 10 años a nivel mundial, el costo de la patente como la campaña de lanzamiento ya no formara parte de este proyecto por rebasar el alcance de este proyecto basado en una parte solo de investigación.

8.2 COSTOS DE INVERSIÓN DE EQUIPO Y MATERIA PRIMA

Como parte del proceso de ejecución una de las partes más atractivas es el análisis financiero con el fin de saber los gastos de inversión que se necesitan para poder llevar a cabo el arranque de operación de este proyecto y saber si el retorno de inversión será en un corto o mediano plazo, ya que al requerir una inyección de capital, se requiere que la institución o persona que haga dicha aportación vea un retorno del mismo. Al ser un proyecto que representa un ingreso adicional a la compañía es de suma importancia comprar equipos de mejores características para que la producción sea continua y no se tenga fallas por operar con equipos viejos y que requieran paros técnicos para su mantenimiento. Serán incluidos los gastos fijos aproximados que se tendrán para la operación así como también los gastos variables de la compañía. Por último se realiza una gráfica donde se podrá analizar el punto de equilibrio y por último el retorno de la inversión el cual nos asegura ver si el negocio puede ser factible de realizar a mediano plazo. Este Análisis lleva como objetivo principal realizar la propuesta a una institución financiera que pueda aportar capital para realizar este proyecto particularmente interesante para la compañía y como una innovación en el área de plásticos para la agricultura que en muchas zonas de

nuestro país representa un gran mercado como se vio en una parte de nuestro proyecto. La máquina extrusora que se cotizó para este proyecto proviene de Europa por lo cual se consideró un tipo de cambio de \$24.00 M.N. por EURO.

8.3 INVERSIÓN INICIAL

En la Tabla 23 hasta la tabla 28 podremos ver los cálculos financieros que se estiman para calcular el retorno de la Inversión para hacer factible este proyecto.

Tabla 23 Inversión inicial

DESCRIPCION DE EQUIPOS	P. Unitario	No. Equipos	%	EUROS	M.N.
Extrusora con unidad de Enfriamiento	161,988.00€	1	62.76%	161,988.00€	\$3,887,712.00
Cabezal de extrusora 90°	20,146.00 €	1	7.81%	20,146.00 €	\$483,504.00
Cambiador de mallas hidráulico	14,561.00 €	1	5.64%	14,561.00 €	\$349,464.00
Impresora láser	6,000.00 €	1	2.32%	6,000.00 €	\$144,000.00
Rueda grabadora en relieve ajustable	53,731.00 €	1	20.82%	53,731.00 €	\$1,289,544.00
Set de refacciones elementares	4,561.00 €	1	1.77%	4,561.00 €	\$109,464.00
DESCUENTO ESPECIAL	-4,987.00 €	1	-1.93%	-4,987.00 €	(\$119,688.00)
Otros	1,000.00 €	1	0.39%	1,000.00 €	\$24,000.00
Pruebas de Laboratorio	1,095.83 €	1	0.42%	1,095.83 €	\$26,300.00
TOTAL			100%	258,096	\$6,194,300.00

Elaboración propia

8.4 Gastos de Importación e Instalación

Tabla 24 Gastos de importación e instalación

CONCEPTO		EUROS	M.N.
Empaque		1,800.00 €	\$43,200.00
Transporte ALEMANIA-MEXICO (TAMPICO, TAMPS)		2,200.00 €	\$52,800.00
Transporte Tampico, Tam.- Toluca, Edo. De Mex		500.00 €	\$12,000.00
TEST RUN y Entrenamiento		4,000.00 €	\$96,000.00
Instalación		2,000.00 €	\$48,000.00
Visita de técnico Especialista		1,000.00 €	\$21,000.00
TOTAL		€ 11,500.00	\$273,000.00

Elaboración propia

8.4 PRODUCCIÓN MENSUAL Y MANO DE OBRA

Tabla 25 Producción mensual

CONCEPTO	Maquina 1	Total \$
Tiempo efectivo (h / mes)	720	
Productividad Aparente (Kg/h)	60	
Merma (%)*	5%	
Producción Mensual Aparente (Kg/h)	51	
Producción Mensual aparente (Kg / mes)	43,200.00	43,200
Producción Mensual (Kg / mes)	36,717.45	36,717
Costo Mensual de M.P. (M.N.)	\$587,479.20	\$593,239.20
ROLLOS PRODUCIDOS POR MES	1224	KG. X ROLLO

Elaboración propia

Tabla 26 Costos mano de obra

PERSONAL	SUELDO	CANTIDAD	M.N.
Operadores	\$4,000.00	4	\$16,000
Ayudantes (empacadores)	\$3,200.00	4	\$16,000
Almacenistas	\$5,000.00	1	\$5,000

Elaboración propia

8.5 COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES

Tabla 27 Costos fijos

COSTOS FIJOS

CONCEPTO	M.N.	%
CONCEPTO	M.N.	%
Renta	\$21,000.00	5.38%
Sueldos y Salarios (Directa+Indirecta+Admin.)	\$186,566.10	47.77%
Gastos de oficina	\$5,250.00	1.34%
Publicidad	\$36,908.34	9.45%
Depreciación	\$46,606.14	11.93%
Pruebas de Laboratorio	\$26,600.00	6.81%
Mantenimiento (1% Inversión Total /12 meses)	\$6,762.42	1.73%
Gastos financieros	\$60,862.20	15.58%
TOTAL	\$390,555.20	100.00%

Elaboración propia

Tabla 28 Costos variables

COSTOS VARIABLES (AL 100% DE LO PROYECTADO)

CONCEPTO	M.N.	%
Costo de Producción (M.P.)	\$638,917.02	61.60%
Energía	\$32,659.20	3.10%
Otros	\$2,100.00	0.20%
TOTAL	\$673,676.22	64.90%
COSTOS TOTALES	\$ 1,037,631.42	100.00%

Elaboración propia

8.6 ANÁLISIS DE PRECIO OBJETIVO VS PRECIO ACTUAL DE LA COMPETENCIA

Precio promedio competencia por unidad		\$1,000.00
Precio promedio por unidad		\$700.00
AHORRO	30.00%	

Elaboración propia

UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS

CONCEPTO	MES 1	MES 2	MES 12
Rendimiento	70%	80%	100%
Utilidad después de Impuestos	\$ 230,833.34	\$ 295,191.37	\$ 423,907.44
Porcentaje después de Impuestos	19.24%	21.53%	24.74%

Elaboración propia

8.7 RETORNO DE INVERSIÓN

CONCEPTO	INICIAL	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
Utilidad después de Impuestos	\$ -	\$ 4,288,292.90	\$ 5,060,589.31	\$ 5,060,589.31
Inversión Inicial	\$ 7,561,610.00			
Inversión por Amortizar	\$ -	\$3,194,417.10	-\$ 1,859,872.21	-\$6,926,761.51

8.8 GRÁFICA DE PUNTO DE EQUILIBRO

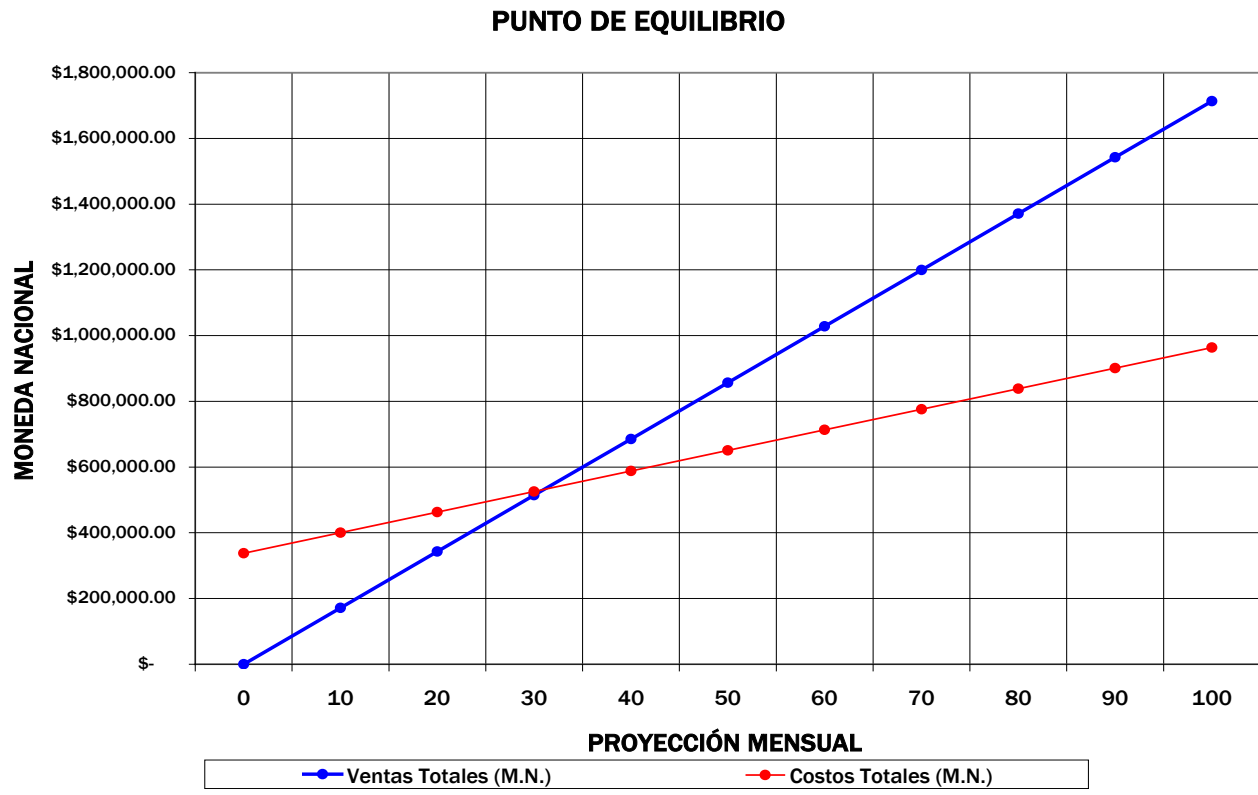


Figura 15 Punto de equilibrio
Elaboración propia

9. ANÁLISIS DE RIESGO

Como parte del trabajo se realiza un análisis de riesgo con el fin de ver los diferentes panoramas que pudiera pasar si nuestra hipótesis planteada en este proyecto pudiera presentar hacer alguna falla, saber que pudiéramos hacer en dado caso (Castañeda, 2001).

A través de una referencia bibliográfica se decidió usar la metodología “*What - If*” o “¿Qué pasa sí?” la cual analiza distintos escenarios que puedan ocasionar. A continuación, daremos una pequeña reseña de esta Metodología.

“*What - If*” o “¿Qué pasa sí?”

La técnica de análisis “*What-if*” es una metodología de lluvia de ideas en la cual el grupo de gente experimentada con el proceso en cuestión realiza preguntas acerca de algunos eventos indeseable.

El propósito del análisis “¿Qué pasa sí?” Es la identificación de riesgos, situaciones riesgosas, o específicos eventos accidentales que pudiesen producir una consecuencia indeseable. Un grupo experimentado de personas identifica posibles situaciones de accidente, sus consecuencias, protecciones existentes, y entonces sugieren alternativas para la reducción de los riesgos.

En su forma más simple, la técnica de análisis “¿Qué pasa sí?” genera una lista de preguntas y respuestas a cerca del proceso. También puede resultar en una lista tubular de situaciones riesgosas (sin una priorización o implicación cuantitativa para los potenciales escenarios de accidente).

Esta técnica usualmente revisa el proceso, comenzando por la recepción de la materia prima y siguiendo con el flujo normal, hasta el final del mismo (a menos que las fronteras del estudio se establezcan de otra manera en el estudio). Estas preguntas y problemas sugieren a menudo causas específicas para las situaciones de accidentes identificadas. Un ejemplo de una pregunta es:

¿Qué pasaría si la materia prima se encuentra en una concentración errónea?

Entonces, el grupo podría recomendar, por ejemplo, instalar un sistema de paro de emergencia o tomar medidas especiales de prevención cuando se adicione la materia prima al proceso.

A continuación se agrega tabla con el análisis "¿Qué pasa si?"

9.1 TABLA ANALISIS DE RIESGO

Tabla 29 Análisis de riesgo “¿Qué pasaría si?” / What-if

HOJA DE TRABAJO			
PROCESO	Fabricación de manguera rural tipo PVC con el uso de espumante	ANALISTA	Ing. Alejandro Alvarez
TÓPICO INVESTIGADO	Variaciones en el proceso con el uso de espumante	FECHA	6/Junio/2021
¿ Que pasaría si?	Consecuencia / Riesgo	Protecciones	Recomendación
¿Si el porcentaje de espumante es mayor al recomendado?	El espesor de la manguera será mayor	Proveedor Confiable de Materia Prima	Asegurarse de que los procedimientos, de etiquetado, manejo y recibo de materias primas existan y sean adecuados
	Tendrá problema de adherencia en la unión	Realizar procedimiento de manejo de materiales dentro de la planta	Incluir dentro del proceso un dosificador de materia prima
	El costo de materia prima será mayor		
¿Si el porcentaje de espumante es menor al recomendado?	El efecto de reducir el peso del producto final se verá afectado	Proveedor Confiable de Materia Prima	Asegurarse de que los procedimientos, de etiquetado, manejo y recibo de materias primas existan y sean adecuados
		Realizar procedimiento de manejo de materiales dentro de la planta	Incluir dentro del proceso un dosificador de materia prima
¿Qué pasa si la mezcla es contaminada en el proceso de mezclado?	El producto presentara contaminación y afectaran el proceso, normalmente materia prima que se mezcla es NYLON, por lo cual este se funde a distinta temperatura por lo cual podría producir poros	Realizar procedimiento de manejo de materiales dentro de la planta	Asegurarse de que los procedimientos, de etiquetado, manejo y recibo de materias primas existan y sean adecuados
	Puede quedar residuos de Espumante para otro tipo de mangueras que no lo requiere	Usar tambos exclusivos de mezclado para el PVC con Espumante	Incluir dentro del proceso un dosificador de materia prima
¿Qué pasa si la velocidad del extrusor es mayor al recomendado?	El espumante no será sometido el tiempo requerido para espumar y no generara el efecto que se busca	Mantenimiento Adecuado al equipo	Instalar una alarma de sonido en caso de que la velocidad sea distinta a la programada
		Alarma de sonido si la velocidad aumenta	
¿Qué pasa si la velocidad del extrusor es menor al recomendado?	El espumante generara una espumación mayor a la requerida provocando una densidad mayor a la requerida, incluso una degradación del material	Mantenimiento Adecuado al equipo	Instalar una alarma de sonido en caso de que la velocidad sea distinta a la programada
		Alarma de sonido si la velocidad disminuye	
¿Que pasaría si las temperaturas del extrusor son mayores a las recomendadas?	El material presentara degradación y este se verá reflejado con pequeños puntos negros que a la larga provocaran fuga en ese punto	Alarma de sonido si la temperatura se eleva	Instalar una alarma de sonido en caso de que la temperatura tenga una variación mayor a +/- 2°C
		Calibración y mantenimiento a los pirómetros cada inicio de operaciones con la ayuda de termómetro digital laser maestro	Comprar Termómetro Digital Maestro para la validación de los pirómetros
¿Que pasaría si las temperaturas del extrusor son menores a las recomendadas?	El material no alcanzara la temperatura de fundición y puede provocar ruptura del husillo	Alarma de sonido si la temperatura se disminuya	Instalar una alarma de sonido en caso de que la temperatura tenga una variación mayor a +/- 2°C
		Calibración y mantenimiento a los pirómetros cada inicio de operaciones con la ayuda de termómetro digital laser maestro	Comprar Termómetro Digital Maestro para la validación de los pirómetros
¿Cuándo se embobina el rollo para su empaque final que pasa si el radio de curvatura es menor?	El rollo se colapsara en el interior de la manguera	Realizar nuevas prueba de radio de curvatura al añadir el espumante al producto final	Realizar pruebas de análisis de radio de curvatura para evitar daño en el embobinado
		Adecuar el embobinado con la nueva especificación	Generar la nueva especificación de producto con la nueva medida de radio de curvatura y diámetro interior de la bobina

Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Una vez determinado que el cambio de materia prima es complicado debido a que ningún plástico de los propuestos por densidad volumétrica, tiene las características del PVC, ni las bondades del mismo para formulación tanto en rígido como en Flexible, se descarta la opción de cambio de materia prima para este tipo de producto.
- Tomando en cuenta el Artículo de Absorción de agua en plásticos espumados realizar pruebas empezando con un porcentaje de 1.5% como referencia inicial, ya que según el artículo antes mencionado nos comparte que una vez que se ya que al llegar al 2% se encuentra un nivel de absorción muy alto, sin embargo, será interesante para efectos de resultados propios hacer una prueba con mayor porcentaje de espumante y añadir en el DOE, una prueba de permeabilidad para un porcentaje de 2.5%.
- Debido al alto costo de inversión inicial que se requiere para la compra de la maquinaria para usar el MUCCELL, se decidió iniciar el proceso de espumado a través de EXPANCEL, al ser un espumante que se usa como un aditivo, a diferencia que MUCCELL que es parte de un proceso adicional y que para justificar su inversión se requiere un mayor volumen de fabricación.
- Se hicieron pruebas empíricas con el espumante EXPANCEL 920-120 y se encontró problemas de adhesión entre las capas, por lo cual se tendrán que mejorar el proceso para garantizar la unión en la manguera.
- Se plantea un tiempo desde el inicio del proyecto hasta su comercialización de 90 semanas, esto con el fin de realizar las pruebas en laboratorio y las pruebas en campo pertinentes para un lanzamiento al público exitoso.
- Debido a que durante el proceso de esta tesis la empresa fue cerrada, se deja planteado el proyecto para iniciar de cero es por eso que el proceso de estaría prolongando en tiempo ya que se tendría que adquirir tanto maquinaria como la creación de una nueva compañía.

APORTACIÓN DE LA TESIS

Las aportaciones originales de esta tesis, directamente relacionada con las conclusiones anteriores son las siguientes, la creación de un método de espúmate químico para la reducción de densidad volumétrica de la manguera verde olivo tipo rural y aprovechar esa ventaja para disminuir los costos de materia prima y poder incrementar el margen de utilidad una propuesta de elaboración de Diagrama de Gantt para saber tiempo aproximado de desarrollar el negocio, saber el costo de la inversión inicial de la variación de la manguera, ya que como se mencionó, durante el desarrollo de este proyecto la empresa donde laboraba cerró sus puertas definitivamente obligando a este trabajo replantar la situación de añadir análisis financiero para el retorno de inversión del equipo que se tendría que adquirir y por último una caracterización de la componente de la materia prima y análisis de sus implicaciones para el diseño, gestión e integración organizativa del plan de implementación.

APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS

A través de este trabajo el principal objetivo es apoyar a las comunidades rurales más lejanas en donde el abastecimiento de agua aun no es por medio de la red de agua si no a través de la excavación de pozos o a través de pipas que surten el agua, en este tipo de opciones el uso de una manguera es vital, ya que esta debe de manipularse para su transporte o para estar cambiando de posición constantemente, se propone hacer un producto más liviano para que la gente que tenga que manipular la manguera lo haga con mayor facilidad y evitar algún tipo de lesión, si bien la reducción que se plantea es de un 20% estamos apoyando en que un tramo de manguera que pesa 50 Kg, ahora pesara 10 kg. Lo cual puede hacer una gran diferencia para que este pueda ser manipulado con mayor facilidad, sabemos de antemano que para el gobierno es prácticamente imposible abastecer de agua a todas las comunidades rurales por la gran inversión que se requiere para realizar la infraestructura, sin embargo, este producto apoyara de manera directa a este tipo de comunidades.

REFERENCIAS

- Akzonobel. (2018). Retrieved from Expancel Nouryon:
<http://www.akzonobel.com/expancel/aboutexpancel/languages/spanish/index.aspx>
- Alemán, J. C. (2002). *Introducción a la Ciencia de los Materiales*. Barcelona : Cálamo Producciones Editoriales.
- Anderson D., S. D. (2016). *Métodos cuantitativos para los negocios*(13ª ed.). México: Cengage Learning.
- Anónimo. (2013, Mayo 22). *QuimiBlog*. Retrieved from QuimiBlog:
<http://quimiblog.blogspot.com/2013/05/como-se-sintetiza-un-material-elastico.html>
- Barraza-Garza, G. (2013, DICIEMBRE cielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-59432013000300001). <http://www.scielo.org.mx/>. Retrieved from Revista latinoamericana de química.
- Blanco Vargas, R. (2008). *Diplomado en plásticos*. México, D.F.: Centro Empresarial del Plástico, SA de CV.
- Blanco Vargas, R. (2008). *Diplomado en plásticos: módulo 4: aditivos y PVC*. México, D.F.: Centro Empresarial del Plástico SA de CV.
- Blanco Vargas, R. (2008). *El mundo de los plásticos: módulo 1*. México, D.F.: Centro Empresarial del Plástico, SA de CV.
- Blanco Vargas, R. (2010). *Enciclopedia del plástico*. Ciudad de México: Instituto Mexicano del Plástico Industrial (IMPI).
- Castañeda, E. (2001). Evaluación de riesgos de proceso en Instalaciones industriales. *Modelo Cero Accidentes 3a versión* (pp. 12-18). Colombia: SURATEP.
- Coreño-Alonso, J. (2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Universidad Nacional Autónoma de México, Educ. quím.*, 21(4), 291-299, 2010.
- Curiel, R. (2019, MARZO 26). *Publmetro*. Retrieved from Publmetro:
<https://www.publmetro.com.mx/mx/opinion/2019/03/26/la-importancia-del-llamado-gobierno-corporativo.html>
- Elaplas. (2020, Diciembre). *Elaplas Elastómeros y Plásticos*. Retrieved from Elaplas: <http://www.elaplas.es/materiales/plasticos-tecnicos/pvc-flexible/>
- Elastomers Products Corporation . (2018). *MINER*. Retrieved from Elastomers Products Corporation: <https://www.minerelastomer.com/es/technical->

data/caracteristicas-de-tecspak/comparacion-dureza-shore-hasta-shore-d/

- INEGI. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Retrieved from Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://www.inegi.org.mx/inegi/contacto.html>
- Iturriaga de la Fuente, G. (1999). *México Patente nº 2268902*.
- Kalpakjian, S. (2003). *Manufacturing processes for engineering materials* (4 ed.). Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Mariano. (2012, octubre 31). *Tecnología de los plásticos*. Retrieved from BLOG Tecnología de los plásticos: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/10/reciclado-de-pvc.html>
- Mexpolimeros. (2020). *Mexpolimeros*. Retrieved from Mexpolimeros: <https://www.mexpolimeros.com/tg.html>
- Morton-Jones. (2006). *Procesamiento de plásticos*. México: Limusa.
- Naranjo-Palacios, F. (abril-junio 2020). Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XXI (número 2).
- Odian, G. (1970). *Principles of polymerization*. New York: McGraw-Hill.
- Ongarato, S. (2019, Abril 18). *Word Express*. Retrieved from Propiedades mecánicas: https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/22_propiedades_mecnicas.html (Consultado el 18-04-2019)
- Petchwattana N, C. S. (2011). Influences of particle sizes and contents of chemical blowing agents on foaming wood plastic composites prepared from poly(vinyl chloride) and rice hull. *Mater Des*, 32:2844–2850 2.
- Pitidhamabhorn, N. P. (2013). Influences of water absorption on the properties of foamed poly(vinyl chloride)/rice hull composites,. 11. *Influences of water absorption on the properties of foamed poly(vinyl chloride)/rice hull composites*, *Nawadon PetchwattanPolym Res*, 20:172.
- Polimeros, T. e. (2017, Enero 4). *todoenpolimeros*. Retrieved from <https://todoenpolimeros.com/2017/01/04/la-resistencia-al-impacto/>
- RF, M. (2013, AGOSTO 2013). *Descripción del equipo auxiliar en la producción de tubo, película plana y perfiles*. Retrieved from O y C de maquinas de extrusion: <http://oycdemaquinasdeextrusion.blogspot.com/>
- Sheila, W., Bisson, C., & Duffy, A. P. (2012). Applying a behavioural and operational diagnostic typology of competitive intelligence practice:

- empirical evidence from the SME sector in Turkey. *Journal of Strategic Marketing*, 20(1), 19-33.
doi:<http://dx.doi.org/10.1080/0965254X.2011.628450>
- Song, Y., Rampley, C. P., & Chen, X. (2019). Application of bacterial whole-cell biosensors in health. In Y. Song, C. P. Rampley, & X. Chen, *Handbook of Cell Biosensors* (pp. 1-17). Springer Nature Switzerland AG.
- Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones (9ª ed.)*. México: Pearson.
- TREXEL. (2018). MUCCELL. Retrieved from TREXEL: <https://trexel.com/technology-solutions/mucell/>
- Valle, L. F. (n.d.). *Propiedades del flujo y extrusión: principios básicos*. Saltillo, Coahuila, México: Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Villar, A. (n.d.). *Sistemas FTIR para la caracterización de polímeros: control de calidad y análisis estructural*. Agilent Technologies.
- Watkins, K. (2006). *Informe sobre Desarrollo 2006, Más allá de la escasez Poder, pobreza y la crisis mundial del agua*. Madrid: Grupo Mundi-Prensa.

ANEXOS

ANEXO 1. TIEMPO Y TEMPERATURA DE ESPUMADO PARA PVC

(Pitidhamabhorn, 2013)

El artículo "*Microcellular Foaming of PVC/NBR ThermoplasticElastomer*", nos ayudó a visualizar la temperatura a la cual debemos de trabajar y el tiempo ideal para poder lograr un espumado optimo en base a una serie de experimentos.

El espumado polimérico molecular tienen pequeñas células de 10 mm de diámetro, por lo que la densidad celular será superior a 10^9 células = cm^3 . En comparación con polímeros sólidos, ofrecen ventajas considerables tales como la reducción de peso y el costo, propiedades mecánicas superiores, y mejores propiedades de aislamiento y conductividad.

Propiedades estructurales:

Después de la formación de espuma, el tiempo adecuado se debe permitir para el gas se difunda fuera del polímero [10]. En el estudio, todas las muestras se caracterizaron dos semanas después de la formación de espuma. Basado en la norma ASTM D792 y el uso de una técnica de desplazamiento de agua, densidades de todas las muestras (sin espumar y espumado) se determinan como:

$$\text{Density} = 0.9975 \{M_a/M_w\}$$

En el que M_a y M_w son el peso de las muestras en el aire y agua destilada, respectivamente, y 0,9975 es la densidad de agua a 25° C. La Densidad relativa de la espuma se define como la relación de la densidad de espuma de densidad de la muestra no espumada. Análisis de tamaño de celda promedio y la densidad celular como la caracterización de la morfología de PVC= NBR se ha realizado mediante la medición microestructura software. La ecuación se aplicó para medir la célula densidad.

$$N = \left(\frac{n}{A}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\rho_p}{\rho_f} \times 10^{12},$$

Ecuación 3

Donde n es el número de células, A es el área seleccionada de la imagen SEM, ρ_p es la densidad de la muestra no espumada, y ρ_f es la densidad de la muestra de espuma, esta ecuación introduce el número de células por unidad de volumen como la densidad celular.

Morfología del espumado

Tiempo de formación de espuma y la temperatura son dos importantes parámetros que rigen los mecanismos de crecimiento celular y, en consecuencia, determinan la densidad relativa de la espuma.

Este fenómeno aumentará la velocidad de difusión de gas y, en consecuencia, el crecimiento de las células. Por lo tanto, si las células continúan creciendo, la total densidad de la muestra disminuye. La Densidad relativa de la muestra de espuma en función del tiempo y la temperatura de formación de espuma se muestra en la figura, en base al tiempo de espumado que se aplique.

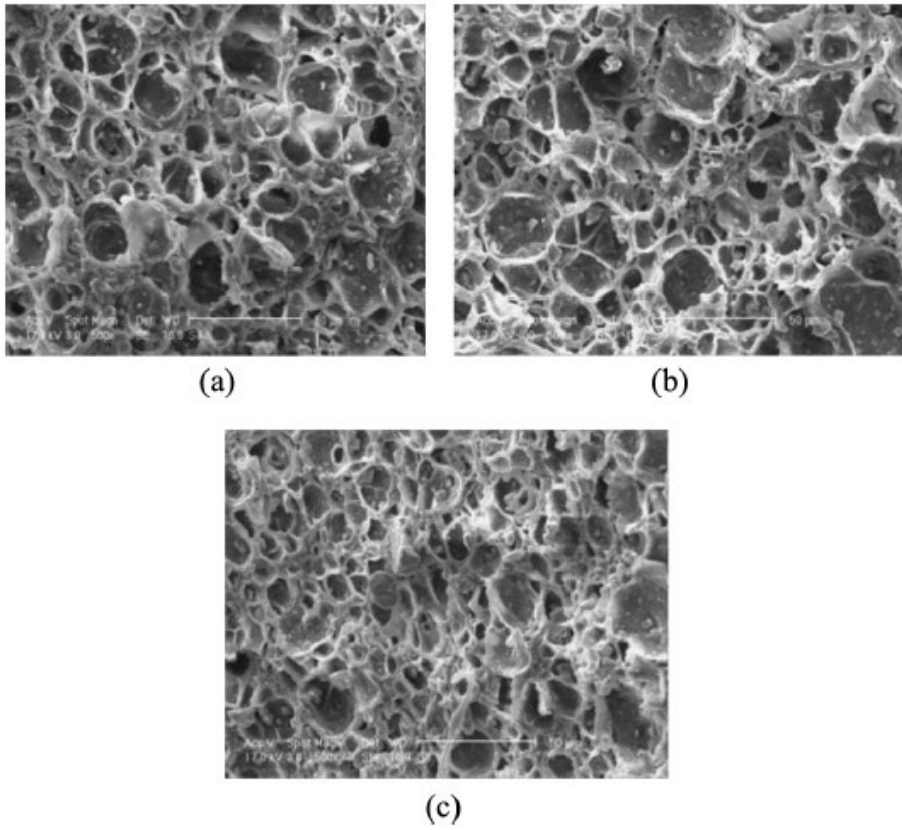
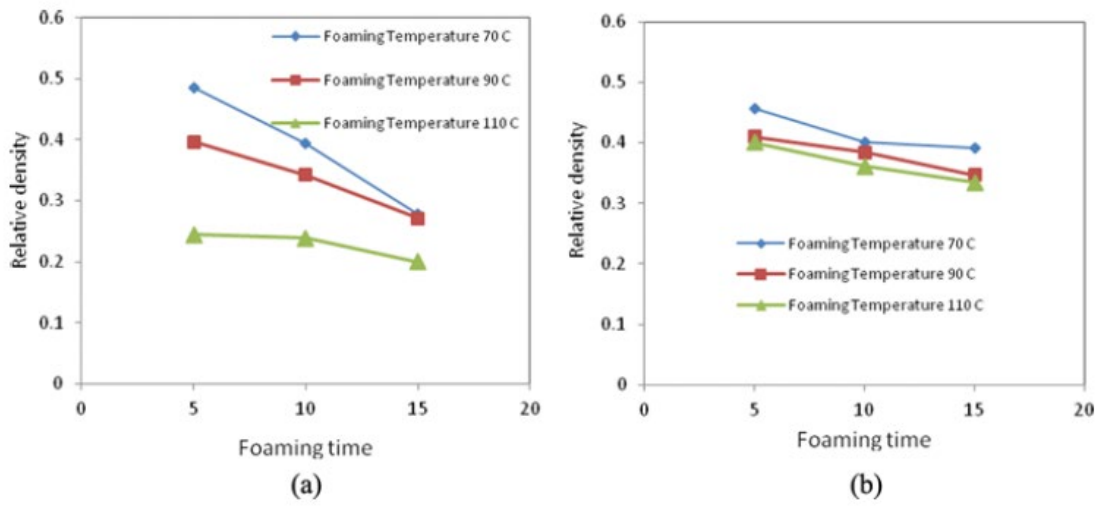


Figura 16 Micrográficas del PVC espumado
(Pitidhamabhorn, 2013)

MICROCELLULAR FOAMING

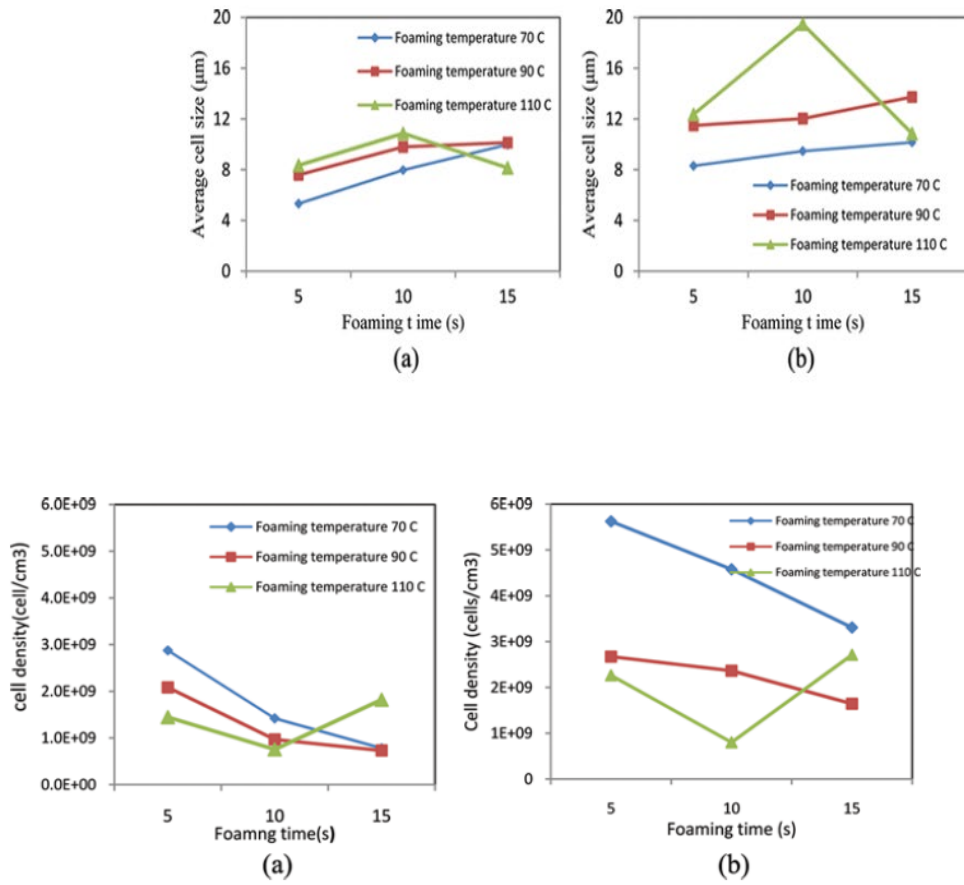


Figura 17 Densidad de la célula comparado con el tiempo y temperatura (Pitidhamabhorn, 2013)

ANEXO 2. ANÁLISIS DE MERCADO PARA LA MANGUERA RURAL

México tiene una extensión de territorio total de 2 millones de km² y está clasificado como país árido y semiárido. El sector agrícola desempeña un papel importante en el desarrollo económico del país y representa 8,4 puntos del producto interior bruto (PIB) agrícola y emplea al 23% de la población activa. La agricultura de regadío aporta cerca del 50% del valor total de la producción agrícola y representa cerca del 70% de las exportaciones agrícolas. El gobierno de México ha puesto en marcha una serie de reformas estructurales en el sector del agua dirigidas a introducir administración y sistemas de riego modernos (INEGI, 2010).

Infraestructura de riego

De los 6,2 millones de hectáreas (ha) que tienen instalaciones de riego en México, unos 4,2 millones ha (67%) se riegan con agua superficial y el resto, unos 2 millones ha (33%), se riegan mediante bombeo de agua subterránea. Aproximadamente 3,3 millones ha corresponden a 80 sistemas mayores, principalmente distritos de riego (DR). Los restantes 2,9 millones ha se distribuyen entre más de 30 mil pequeñas unidades de riego (UR) y comunales.

El promedio de tamaño de parcela es relativamente pequeño; por regla general, menos de 1 ha especialmente en las unidades de riego. Al mismo tiempo, muchos terratenientes poseen granjas de más de 50 ha y granjas familiares, que combinan posesiones individuales de tierra y pueden superar las 500 ha.

DATOS INEGI

Tabla 30 Superficie agrícola en México por estado

ENTIDAD FEDERATIVA	SUPERFICIE AGRÍCOLA
(Hectáreas)	
Estados Unidos Mexicanos	30 221 246.15
Aguascalientes	170 696.46
Baja California	378 513.12
Baja California Sur	129 337.20
Campeche	817 956.50
Coahuila de Zaragoza	898 673.15
Colima	202 238.20
Chiapas	2 200 155.53
Chihuahua	2 049 468.32
Distrito Federal	18 813.65
Durango	934 822.56
Guanajuato	1 030 730.17
Guerrero	1 615 257.66
Hidalgo	587 597.12
Jalisco	1 694 487.11
México	710 421.84
Michoacán de Ocampo	1 421 075.48
Morelos	150 218.70
Nayarit	602 406.44
Nuevo León	594 937.48
Oaxaca	1 653 208.04
Puebla	1 011 643.03
Querétaro	237 031.45
Quintana Roo	373 719.07
San Luis Potosí	1 039 811.71
Sinaloa	1 335 591.96
Sonora	1 259 606.00
Tabasco	597 933.89
Tamaulipas	1 348 456.97

Posgrado CIATEQ, A.C.

Tlaxcala	205 149.57
Veracruz Llave	2 644 987.85
Yucatán	568 739.25
Zacatecas	1 737 560.66

(INEGI, 2010)

Tabla 31 Tabla de hectáreas divididas por el tipo de riego que utiliza

UNIDADES DE PRODUCCIÓN CON SUPERFICIE DE RIEGO SEGÚN SISTEMA DE RIEGO UTILIZADO POR ENTIDAD FEDERATIVA

ENTIDAD FEDERATIVA	UNIDADES DE PRODUCCIÓN	SISTEMA UTILIZADO					
		CANALES RECUBIERTOS	CANALES DE TIERRA	DE ASPERSIÓN	MICROASPERSIÓN	GOTEO	OTRO
Estados Unidos Mexicanos	630 312	159 875	405 836	48 645	8 191	20 881	64 112
Aguascalientes	6 680	2 691	2 181	1 517	105	228	759
Baja California	4 782	1 916	2 920	205	29	1 060	102
Baja California Sur	2 484	71	445	198	84	1 218	712
Campeche	1 908	56	648	228	80	541	430
Coahuila	13 852	6 478	10 092	841	104	384	441
Colima	5 115	1 589	3 071	318	271	421	413
Chiapas	13 934	3 278	7 406	1 214	272	586	2 056
Chihuahua	17 806	4 954	10 028	1 677	791	403	2 746
Distrito Federal	1 362	17	597	70	*	41	660
Durango	16 518	7 348	10 854	509	93	154	1 225
Guanajuato	47 777	11 248	27 675	3 958	169	678	8 664
Guerrero	29 234	6 238	15 090	2 443	312	1 225	5 948
Hidalgo	45 732	14 168	36 246	358	29	472	3 355
Jalisco	25 484	4 597	13 387	4 228	130	1 869	3 891
México	69 005	27 347	49 780	807	125	945	1 805
Michoacán	60 146	10 852	45 867	1 930	329	2 316	4 342
Morelos	15 460	4 420	11 189	212	43	245	1 535
Nayarit	16 153	2 391	2 866	9 882	204	764	1 970

Posgrado CIATEQ, A.C.

Nuevo León	6 399	686	4 136	1 441	174	293	308
Oaxaca	31 467	5 166	18 394	3 316	445	630	5 540
Puebla	53 588	12 704	38 581	3 209	114	291	3 385
Querétaro	11 222	3 995	5 900	773	33	405	1 478
Quintana Roo	762	13	312	135	39	112	171
San Luis Potosí	15 028	2 662	10 380	1 076	129	826	1 508
Sinaloa	31 869	3 385	27 486	591	58	1 164	1 450
Sonora	15 120	4 437	12 003	271	61	494	636
Tabasco	644	41	115	84	24	91	308
Tamaulipas	14 667	2 104	12 692	329	629	235	589
Tlaxcala	6 610	4 476	1 399	830	21	38	290
Veracruz Llave	15 017	1 882	9 529	1 049	181	734	2 448
Yucatán	10 673	931	1 742	3 707	2 910	607	2 214
Zacatecas	23 814	7 734	12 825	1 239	201	1 411	2 733

(INEGI, 2010)

Tabla 32 Porcentaje de participación por tipo de sistema de riego utilizado

	SISTEMA UTILIZADO	PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN	HECTÁREAS EN MÉXICO PARA EL CULTIVO
UNIDADES DE PRODUCCIÓN TOTALES	707 540	100%	30 221 246.15
CANALES RECUBIERTOS	159 875	22.60%	6 828 761.24
CANALES DE TIERRA	405 836	57.36%	17 334 524.77
ASPERSIÓN	48 645	6.88%	2 077 780.08
MICROASPERSIÓN	8 191	1.16%	349 863.23
GOTEO	20 881	2.95%	891 892.81
OTRO	64 112	9.06%	2 738 424.02

(INEGI, 2010)

Tabla 33 Riego por goteo por estado

ENTIDAD FEDERATIVA	GOTEO	% POR ESTADO	HECTÁREAS APROXIMADAS
Estados Unidos Mexicanos	20 881	100%	891892.81
Aguascalientes	228	1.09%	9738.59
Baja California	1 060	5.08%	45275.92
Baja California Sur	1 218	5.83%	52024.59
Campeche	541	2.59%	23107.80
Coahuila de Zaragoza	384	1.84%	16401.84
Colima	421	2.02%	17982.23
Chiapas	586	2.81%	25029.89
Chihuahua	403	1.93%	17213.39
Distrito Federal	41	0.20%	1751.24
Durango	154	0.74%	6577.82
Guanajuato	678	3.25%	28959.50
Guerrero	1 225	5.87%	52323.58
Hidalgo	472	2.26%	20160.60
Jalisco	1 869	8.95%	79830.84
México	945	4.53%	40363.91
Michoacán de Ocampo	2 316	11.09%	98923.60
Morelos	245	1.17%	10464.72
Nayarit	764	3.66%	32632.83
Nuevo León	293	1.40%	12514.95
Oaxaca	630	3.02%	26909.27
Puebla	291	1.39%	12429.52
Querétaro	405	1.94%	17298.82
Quintana Roo	112	0.54%	4783.87
San Luis Potosí	826	3.96%	35281.04
Sinaloa	1 164	5.57%	49718.08

Posgrado CIATEQ, A.C.

Sonora	494	2.37%	21100.28
Tabasco	91	0.44%	3886.89
Tamaulipas	235	1.13%	10037.58
Tlaxcala	38	0.18%	1623.10
Veracruz Llave	734	3.52%	31351.44
Yucatán	607	2.91%	25926.87
Zacatecas	1 411	6.76%	60268.22

(INEGI, 2010)

Estados con mayor participación

Tabla 34 Superficie agrícola en México por entidades seleccionadas para la venta del producto

ENTIDAD FEDERATIVA	GOTEO	% POR ESTADO	HECTÁREAS APROXIMADAS
Estados Unidos Mexicanos	20 881	60%	539552.23
Aguascalientes	228	1.09%	9738.59
Guanajuato	678	3.25%	28959.50
Guerrero	1 225	5.87%	52323.58
Hidalgo	472	2.26%	20160.60
Jalisco	1 869	8.95%	79830.84
México	945	4.53%	40363.91
Michoacán de Ocampo	2 316	11.09%	98923.60
Nayarit	764	3.66%	32632.83
San Luis Potosí	826	3.96%	35281.04
Sinaloa	1 164	5.57%	49718.08
Veracruz Llave	734	3.52%	31351.44
Zacatecas	1 411	6.76%	60268.22

(INEGI, 2010)

Tabla 35 Consumo aproximado de rollo de 30 metros por estado

ENTIDAD FEDERATIVA	METROS POR HECTAREA (13,333 Mts por hectárea Separación de parcela de 75 cm.)	PARTICIPACIÓN DEL 1% MERCADO	NO DE ROLLOS DEL 2" ANUALES 30 \$ X ROLLO 2" \$900.00 mts	
ENTIDADES SELECCIONADAS	7,193,849,817.70	71,938,498.18	2,397,950	\$2,158,154,945.31
Aguascalientes	129,844,661.05	1,298,446.61	43,282	\$38,953,398.32
Guanajuato	386,117,018.40	3,861,170.18	128,706	\$115,835,105.52
Guerrero	697,630,306.10	6,976,303.06	232,543	\$209,289,091.83
Hidalgo	268,801,228.15	2,688,012.28	89,600	\$80,640,368.45
Jalisco	1,064,384,524.17	10,643,845.24	354,795	\$319,315,357.25
México	538,171,950.42	5,381,719.50	179,391	\$161,451,585.13
Michoacán de Ocampo	1,318,948,399.13	13,189,483.99	439,649	\$395,684,519.74
Nayarit	435,093,513.36	4,350,935.13	145,031	\$130,528,054.01
San Luis Potosí	470,402,149.26	4,704,021.49	156,801	\$141,120,644.78
Sinaloa	662,891,164.33	6,628,911.64	220,964	\$198,867,349.30
Veracruz Llave	418,008,689.53	4,180,086.90	139,336	\$125,402,606.86
Zacatecas	803,556,213.80	8,035,562.14	267,852	\$241,066,864.14

Elaboración propia

Una vez hecho el análisis de mercado en cuanto a la factibilidad de venta de este producto, se puede concluir que hay un mercado bastante amplio en el país como para poder hacer este producto exitoso. Si bien es cierto que hay muchas opciones más en el mercado hoy en día de distintos tipos de manguera para riego, es también conservador mencionar que el mercado que se pretende cubrir es solo el 1% del potencial que se puede tener de los datos obtenidos del INEGI, con esto se asegura que si el proceso de espumado en este tipo de manguera, puede ser tal el éxito de poder realizar un negocio sumamente rentable, ya que si no es posible seguir vendiendo al mismo precio tenemos una mejor utilidad que puede representar una disminución en el precio del producto, pero conservado la utilidad que se tiene hoy en día, y así poder ganar participación en el mercado actual. Para este análisis de mercado se tomó una sola medida de manguera que es la de 2", y la cual representa el 60% de las ventas de este modelo de manguera, a pesar de que hay otras diez medidas que van desde ¾" hasta 8", teniendo la asertividad que se puede realizar esta nueva formulación para un solo modelo, no es ninguna complicación realizar el mismo proceso para todas las medidas.