

# ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DE DIFERENTES POLIPROPILENOS EMPLEADOS PARA FABRICAR SACOS DE RAFIA

*Comparative Study of the Resistance of Different Polypropylenes Used to Manufacture Raffia Bags*

DOI: <https://doi.org/10.69633/yr1nvw30>

Recibido: 21/12/2024 Aceptado: 23/02/2025

\*Alessandro Giuseppe Cecala Guerrieri (Coord.)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3134-6244>

*Universidad Central de Venezuela  
Escuela de Ingeniería de Procesos Industriales Maracay - Edo. Aragua  
agcg17@gmail.com*

\*\*Alejandro Guillén Mujica

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8782-4640>

*Universidad Central de Venezuela  
Escuela de Ingeniería de Procesos Industriales Maracay - Edo. Aragua  
aleguillenm@gmail.com.ve*

\*Ingeniero en Procesos Industriales de la Universidad Central de Venezuela; Especialista en Gerencia de Sistemas de Calidad y Control Estadístico de Procesos de la Universidad Central de Venezuela; maestrante en Administración de Empresas mención Gerencia de la Universidad de Carabobo, Venezuela; Auditor Líder HSEQ - Seatam Learning; Analista de Calidad Productiva - Ron Santa Teresa C.A. (Actual); Líder y Especialista de Aseguramiento de la Calidad - Polivensa S.A. La Victoria; Pasante en el área de desarrollo técnico - Alimentos Polar C.A. Turmero; Pasante en el área técnica y de producción - Vencerámica C.A. La Victoria, Estado Aragua, Venezuela..

## RESUMEN

Esta investigación aporta información valiosa para las empresas del sector, al ofrecer criterios técnicos y económicos para la selección de materiales y la optimización de procesos productivos, lo que contribuye a la mejora de la calidad, la reducción de costos y el aumento de la competitividad en el mercado.

Se llevó a cabo en una empresa fabricante de sacos de polipropileno (PP, plástico termoplástico), con el propósito de comparar diferentes tipos de material utilizado en la producción de sacos de rafia y contribuir a mejorar la calidad en la producción de bobinas obtenidas en el proceso de extrusión.

Se recopiló información sobre la extrusión de cintas de rafia empleadas en la tejeduría de rollos de tela, de acuerdo con los parámetros establecidos en una investigación cuantitativa experimental y una revisión documental. Ambos enfoques permitieron identificar los tipos de polipropilenos que con la mejor resistencia.

Para ello, se recurrió a métodos basados en el diseño de experimentos (DoE), metodología estadística que permite optimizar procesos y reacciones, determinando qué tipo de polipropileno garantiza la elaboración de un producto de mayor resistencia y calidad para las empresas, demostrando que los polipropilenos F-600 y 05H82-AV cumplen con los estándares de calidad esperados para las operaciones.

**Palabras claves:** *polipropileno, resistencia, estadística, extrusión.*

### ABSTRACT

This research provides valuable information for companies in the sector, by offering technical and economic criteria for the selection of materials and the optimization of production processes, which contributes to the improvement of quality, the reduction of costs and the increase of competitiveness in the market.

It was carried out in a company that manufactures polypropylene (PP, thermoplastic plastic) bags, with the purpose of comparing different types of material used in the production of raffia bags and contributing to improve the quality in the production of coils obtained in the extrusion process. Information was collected on the extrusion of raffia ribbons used in the weaving of fabric rolls, according to the parameters established in an experimental quantitative research and a documentary review. Both approaches made it possible to identify the types of polypropylene with the best resistance.

To this end, methods based on the design of experiments (DoE) were used, a statistical methodology that allows optimizing processes and reactions, determining which type of polypropylene guarantees the production of a product of greater resistance and quality for companies, demonstrating that polypropylene F-600 and 05H82-AV meet the expected quality standards for operations.

**Keywords:** *polypropylene, resistance, statistics, extrusion.*

\*\*Magister en Ingeniería Industrial; Doctor en Ciencias de la Educación; Postdoctor en Investigación; Ingeniero Inspector AGA Planta Electrodo – Maracay; Jefe Departamento de Ingeniería Industrial Alimentos Kellogg S.A. – Maracay; Gerente de Mantenimiento y Proyectos Ralston Purina de Venezuela – Turmero; Ingeniero Residente CVG - EDELCA – Charallave; Ingeniero Residente - Hidropaez – Calabozo; Profesor Titular Departamento de Gerencia Escuela de Ingeniería de Procesos Industriales UCV; Miembro de la Comisión para la Creación de la escuela de Ingeniería de Procesos Industriales UCV; Tutor de Pasantías - Escuelas de Ingeniería Civil y Procesos Industriales UCV, TEG Pregrado - Escuelas de Ingeniería Civil y Procesos Industriales UCV, TEG Postgrado - Universidad de Carabobo.

## INTRODUCCIÓN

En el ámbito industrial, los sacos de rafia son esenciales para el empaque, transporte y almacenamiento de diversos productos. Su fabricación recurre, principalmente, al PP, un termoplástico reconocido por su versatilidad y propiedades mecánicas favorables, ampliamente utilizado en la industria textil.

La popularidad de este material se debe a sus atractivas propiedades. Por ejemplo; alta resistencia, durabilidad, resistencia química y al agua, además de su bajo costo. Sin embargo, dentro de la familia del polipropileno, existe una variedad de tipos con características que pueden afectar el desempeño final del saco de rafia.

La empresa analizada es una compañía venezolana reconocida en la industria del plástico. Arrancó sus operaciones en 2006 y, debido a su crecimiento en el mercado, ha logrado expandirse. La compañía está especializada en la fabricación de sacos de polipropileno y actualmente tiene su sede en La Victoria, estado Aragua. La empresa tiene como misión, la de ofrecer soluciones plásticas innovadoras con plazos de entrega óptimos y la mejor relación calidad-precio.

Una de las etapas del proceso productivo para la elaboración de los sacos de rafia es el proceso de extrusión; esta se refiere a las tareas industriales de fundir y moldear el plástico mediante un flujo constante de presión y fuerza para obtener la forma deseada de cierto polímero según su aplicación final (Aristegui, 2017).

Este método es ampliamente utilizado en la producción y transformación del plástico, y los productos que pueden ser manufacturados con este proceso, entre otros, son: tuberías, mangueras, fibras, películas y un número ilimitado de perfiles (Morales, 2014).

El caso analizado, extrusión de pellets de polipropileno, considerados como material virgen, para la producción de bobinas de cintas de rafia destinadas para el proceso de tejeduría en la construcción de dichos rollos de tela. Este proceso sigue especificaciones de producción establecidas, previas a la laminación, impresión y confección.

El tipo de polipropileno empleado en la fabricación de sacos de rafia influye directamente en sus propiedades y desempeño. Por ello, surge la necesidad de comparar la resistencia de la tela utilizada, fabricada con diferentes tejidos de polipropileno para optimizar la selección del material más adecuado. Esta comparación se enfocó en la resistencia a la tracción del saco.

La resistencia a la tracción es una propiedad mecánica fundamental que indica la máxima fuerza que un material puede soportar antes de romperse. Para los sacos de rafia, esta característica es crítica para garantizar su durabilidad y capacidad de carga.

El polipropileno, como material base de los sacos de rafia, se distingue por su alta resistencia, tenacidad y flexibilidad. Sin embargo, sus propiedades pueden variar significativamente, de acuerdo con su estructura molecular, peso molecular y grado de cristalinidad, entre otros factores.

La extrusión es un proceso clave en la transformación del polipropileno en cintas de rafia, ya que permite controlar la orientación de las moléculas del polímero y, por ende, las propiedades mecánicas de la tela.

Esta investigación se centra en un aspecto de suma importancia en la producción de los sacos de rafia: la selección del tipo de polipropileno. La elección del material adecuado impacta directamente en la calidad y el desempeño del producto final.

A pesar de la amplia gama de tipos de polipropileno disponibles, no existe una guía clara que determine cuál de ellos ofrece la mejor combinación de propiedades para la fabricación de sacos de alta calidad. Esta investigación busca llenar ese vacío de conocimiento al comparar la resistencia de la tela fabricada con distintos tipos de PP.

El objetivo general de la investigación es determinar el tipo de polipropileno que ofrece la mayor resistencia a la tracción en la fabricación de los sacos de rafia, con el fin de optimizar la selección del material y mejorar la calidad y el desempeño de los productos finales.

La pregunta general que guía esta investigación es la siguiente: ¿Qué tipo de polipropileno que maximiza la resistencia a la tracción de la tela empleada en la fabricación de sacos de rafia? Para responderla, se propone la siguiente hipótesis: existen diferencias significativas en la resistencia a la tracción de la tela de rafia fabricada con diferentes tipos de polipropileno.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

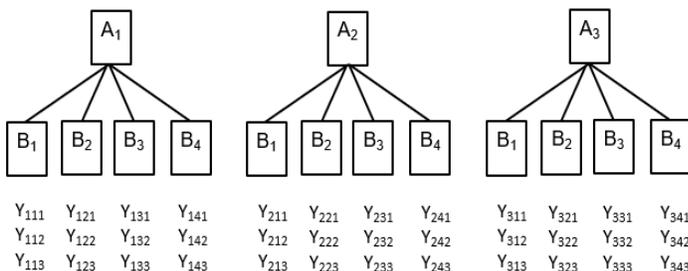
Desde una perspectiva teórica, los diseños anidados se caracterizan por organizar los niveles de un factor B dentro de los niveles de otro factor A. Esto significa que cada nivel del factor anidado, solo aparece dentro de un nivel del otro factor y no en todos.

El factor B recibe el nombre de “factor anidado”, y sus niveles varían encada nivel de A (Gutiérrez y De la Vara, 2008). En un factor aleatorio, los niveles de prueba utilizados corresponden a una muestra aleatoria de la población de niveles posibles.

Entre los distintos diseños anidados, se destaca el de dos etapas. El factor A está en el primer nivel y el factor B, en el segundo. En este caso, B1 en A1 no tiene relación alguna con B1 en A2, ya que cada nivel de B es único (Villalobos, 2011).

**Figura 1.**

*Estructura del diseño anidado de dos etapas*



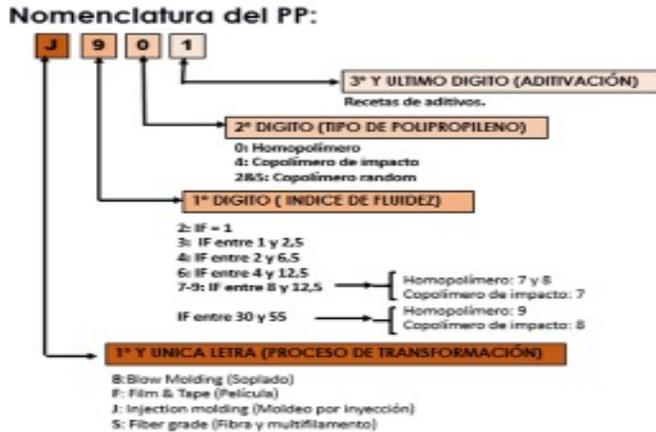
*Nota.* Elaboración propia.

Los diseños anidados son empleados por investigadores interesados en conocer el efecto de determinados factores sobre variables de control en procesos industriales, donde un nivel está contenido dentro de otro.

El PP es uno de los materiales plásticos más utilizados junto con el tereftalato de polietileno. Sus usos van desde textiles y envases hasta dispositivos médicos y equipos de laboratorio y/o componentes automovilísticos (Envaselia, 2018).

El polipropileno distribuido en el mercado, está identificado con un lote, es decir, una cantidad de material con características similares o que han sido fabricados bajo condiciones de producción uniformes y sometidos a inspección unitaria. La nomenclatura utilizada para su identificación incluye letras que hacen referencia a qué proceso de transformación podrá utilizarse. Por ejemplo, soplado, película, moldeo por inyección, fibra o multifilamento, entre otros (Propilven, 2017). La segunda parte del código incluye números, estos dígitos indican cuál es su índice de fluidez, el tipo de polipropileno (homopolímero, copolímero de impacto y copolímero random) y los aditivos incorporado en dicho material ver Figura 2.

**Figura 2.**  
*Nomenclatura del polipropileno (PP)*



*Nota.* Propilven, 2017.

Con referencia a la resistencia, se puede indicar que es uno de los análisis en la que es sometida la cinta de rafia para medir como soporta la tensión o dicho de otra manera, el máximo esfuerzo que puede soportar el cuerpo antes que llegue al punto de cedencia o en el punto de rotura. (Ledezma, 2022). La herramienta de medición para calcular la resistencia es el dinamómetro, el cual es un instrumento utilizado para la medición de la fuerza y el peso de estos, por lo que permite conocer cuál es el peso real de un objeto, partiendo de la fuerza de gravedad que atrae a dicho objeto.

En cuanto a la metodología de investigación empleada, de acuerdo con la naturaleza del presente documento, se desarrolló una investigación de tipo cuantitativa experimental, definida como un procedimiento metodológico en el que un grupo de individuos conglomerados es dividido aleatoriamente en grupos de estudio y control, y, cuyas respuestas, son analizadas en función de una variable introducida por el

investigador (Arias, 2012). En este caso, mediante un diseño estadístico anidado, se establecieron las pautas para la toma de los datos. Esta investigación se clasifica como una experiencia de campo, dado que se obtuvo la información directamente del lugar real en donde ocurren los hechos, sin manipular, alterar o controlar las variables en análisis. De este modo, se recopiló información en el área de extrusión, mediante la observación directa del investigador y la revisión de documentación y reportes de producción, además de los estándares de calidad aplicados a la resistencia de las cintas de rafia. El objetivo fue el de identificar el tipo de PP que garantice la calidad del producto final (Balestrini, 2009).

La unidad de análisis fue el área de extrusión de bobinas de cinta de rafia destinadas para la tejeduría en la fabricación de sacos de polipropileno de la empresa objeto de estudio.

Para abordar la investigación, se tomaron en consideración cuatro poblaciones:

los tipos de polipropilenos disponibles para la producción.

Los lotes existentes en almacén de cada tipo de polipropileno.

Las bobinas de cinta de rafia obtenidas del proceso de extrusión.

Supervisores de industrias que forman parte de la adquisición y evaluación de los productos o servicios ofrecidos por la compañía productora.

En cuanto a la selección de los lotes, se realizó, esta investigación, de manera aleatoria de acuerdo con los lineamientos establecido por la gerencia del área de aseguramiento de la calidad. Se eligieron cuatro lotes de cada tipo de polipropileno considerado en este estudio.

Para la medición de la resistencia, se seleccionaron cinco bobinas de cinta de rafia por cada tipo de polipropileno y lote, a partir de una carga de producción de ocho bobinas. A cada bobina se le realizaron cinco pruebas de resistencia, igualmente por tipo y lote. La medición analizó 60 bobinas de cinta de rafia.

Por otro lado, se designó un supervisor por grupo, encargado de la adquisición y uso de los sacos en los procesos de llenado, para un total de cinco supervisores. A estos se les aplicó un instrumento de recolección de datos que permitió recolectar información relevante para la investigación.

Las técnicas empleadas para la recolección de datos incluyeron la observación directa, la encuesta y la revisión documental. Como señala Hurtado (2012), esta última consiste en el análisis de fuentes escritas para comprender el desarrollo y las características de dichos procesos.

Para el procesamiento y análisis de la información, se utilizaron varias herramientas:

Diagrama de flujo de procesos, siguiendo la simbología de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés).

- Paquete estadístico MINITAB®.
- Seguimiento de las pautas establecidas en el diseño experimental.
- Diagrama de Ishikawa con el método de las 5M.
- Herramientas estadísticas como: tablas de doble entrada y gráficos.

Los materiales utilizados para realizar el trabajo fueron: polipropileno, bobinas de cinta de rafia y sacos para prueba de impacto. Además, se utilizaron equipos: dinamómetro, aparato de prueba de impacto, cámara fotográfica y computadora.

## **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### ***Caracterización del Proceso de Fabricación de Sacos de Rafia***

Iniciando la investigación, se estudió, identificó y evaluó el proceso de extrusión para la producción de bobinas de cinta de rafia destinadas a la tejeduría de rollos de tela para la elaboración de sacos de polipropileno, a través de la técnica de observación directa que permitió conocer las operaciones del proceso y, así, tener una visión más amplia de cómo se utiliza el polipropileno para fabricar la cinta de rafia, para su posterior análisis en el laboratorio técnico.

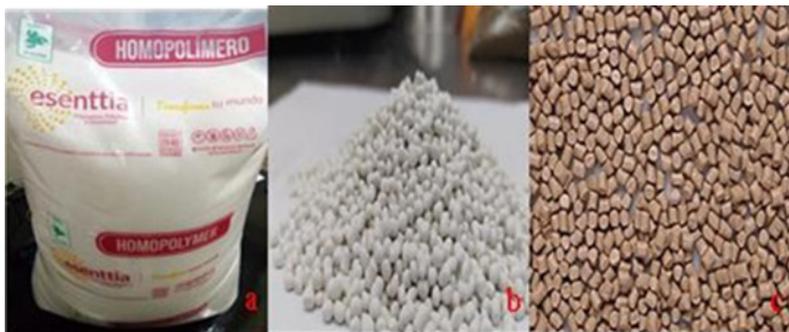
La fabricación de sacos contempla varios procesos con los que se obtienen productos semielaborados, subproductos y productos terminados. Uno de estos procesos es la elaboración de bobinas de cinta de rafia mediante extrusión, lo que constituye el primer producto semielaborado resultante de este. La extrusión tiene el fin de producir artículos continuamente y con formas particulares, con base en materiales poliméricos en estado fundido o reblandecido.

El área de extrusión cuenta con una extrusora monohusillo horizontal de una etapa, con los siguientes componentes principales: el sistema de accionamiento (la caja reductora y el motor), la tolva, el barril y el husillo, el sistema de cambio de mallas, el cabezal, el sistema de calefacción (con bandas de calefacción y ventiladores) y el sistema de control.

El proceso inicia con el suministro de la materia prima, depositada en varias tolvas de alimentación, en las que descargan el polipropileno para la fabricación de la cinta (Figura 3a). También se utiliza el masterbatch que es el concentrado de colorantes, aditivos o demás sustancias activas con las cuales se consiguen determinadas características, cumpliendo la función de darle la coloración que se quiera fabricar, ya sea cinta blanca (Figura 3b), cinta beige (Figura 3c) u otro color establecido en la producción.

### Figura 3.

*Materia prima utilizada en el proceso de extrusión: Homopolímero (polipropileno), Masterbatch blanco y Masterbatch beige.*



*Nota.* Elaboración propia.

Estos pellets (polipropileno y masterbatch) van dirigidos a un dosificador de tres compuertas encargado de agregar el material en la cantidad exacta requerida en otra tolva vertical conectada a la extrusora monohusillo (Figura 4).

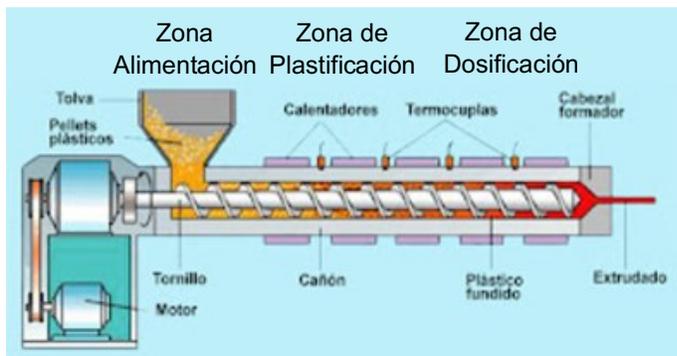
**Figura 4.**  
*Tolvas de alimentación de materia prima*



*Nota.* Elaboración propia.

La sección de alimentación de la extrusora monohusillo transporta los gránulos de polímero de manera uniforme hasta la zona de compresión. La sección de compresión (plastificación) se encarga de fundir los gránulos de polímero, a la zona de dosificación. La zona de dosificación tendrá que homogenizar el material fundido mediante la presión requerida para vencer la restricción del cabezal y equilibrar su transporte, estabilizando la corriente del fundido (Figura 5).

**Figura 5.**  
*Zonas del husillo de la extrusora.*



*Nota.* Extrusión del Plástico Ojeda (2011)

Una vez formada la masa fundida saliente del cabezal de la extrusora, se genera una película de polipropileno, del tipo plástico fabricado con el homopolímero y *masterbatch*, con propiedades de transparencia y resistencia. Luego pasa al área de corte, para convertirla en cintas y, finalmente, por los rodillos de estirajes que dan la tensión a la cinta, esencial para garantizar la calidad general del producto extruido (Figura 6).

**Figura 6.**

*Película de polipropileno formada por la extrusora.*



*Nota.* Elaboración propia.

Los rodillos de estiraje deben proporcionar una tracción constante. Después, son llevados a un horno que genera el calentamiento necesario para el tratamiento y endurecimiento de la cinta de rafia. Así alcanza sus propiedades: dureza, flexibilidad y gran durabilidad (Figura 7).

### **Figura 7.**

*Rodillos de estiraje del proceso de extrusión*



*Nota.* Elaboración propia.

Después del proceso de estiramiento y calentamiento, las cintas de rafia son enviadas, por los operadores del área, hacia los devanadores-cruzados de precisión, que sostienen y facilitan el enrollado de bobinas, ya sea en bobinas de urdimbre o trama, para su uso en el área de tejeduría. Los devanadores se ajustan dentro de un rango establecido de anchura de la cinta de rafia, cumpliendo con los requerimientos de precisión y calidad, incluso a altas velocidades de trabajo (Figura 8).

Finalizado el proceso de extrusión del material, se envían muestras al laboratorio técnico para que los especialistas hagan los análisis respectivos de sus propiedades y evalúen si cumple con los estándares de calidad establecidos. Las bobinas restantes de la producción son almacenadas en el área de telares (Figura 9), donde se diseña cada telar para fabricar los rollos de tela y proceder con su laminación, impresión y confección de los sacos.

**Figura 8.**

*Devanadores-cruzados de precisión de bobinas de cinta de rafia*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 9.**

*Área de telares*

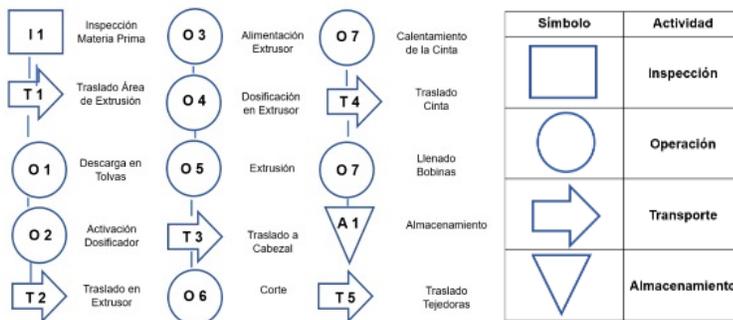


*Nota.* Elaboración propia.

Descrito el proceso de extrusión del material, para la elaboración de sacos de polipropileno, tras la observación directa, se elaboró un diagrama de flujo del proceso para describir gráficamente cada una de las actividades que permiten la fabricación de las bobinas.

**Figura 10.**

*Procesos de Elaboración de las bobinas de cinta de rafia*



Nota. Elaboración propia.

**Análisis de la Resistencia del Propileno en la Fabricación de Sacos de Rafia** En el Diagrama de Ishikawa, con el método de las 5M, se presentan las causas (raíces) de la variabilidad de la resistencia de la cinta de rafia durante el proceso de extrusión.

**Figura 11**

*Diagrama de Ishikawa en el proceso de extrusión*



Nota. Elaboración propia.

El cuestionario aplicado, con una escala de Likert, a distintos supervisores de varias industrias que utilizan los sacos, elaborados por la empresa analizada, en sus procesos de llenado fue avalado por un grupo de expertos en el área de la metodología y constaba de ocho preguntas.

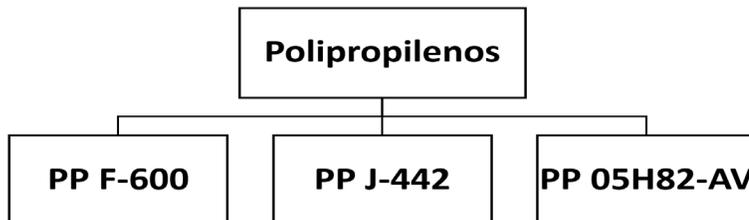
Los resultados indicaron que la calidad del saco, desde la descarga del material en el proceso de llenado, traslado y paletizado, no presenta, en general, un buen comportamiento. Se determinó que las roturas del tejido pueden deberse por la falta de resistencia del envase, lo que afecta las condiciones de trabajo y la producción.

Con el fin de identificar las propiedades de los tipos de polipropilenos utilizados en el proceso de extrusión para la elaboración de sacos, se consultó a la Gerencia del laboratorio de Aseguramiento de la calidad, por los manuales y certificados que indicaban las propiedades de cada uno de los homopolímeros suministrados por cada proveedor.

La empresa fabricante de sacos utiliza tres tipos de polipropilenos principales, que son los más utilizados la industria del plástico para procesos de extrusión. Estos son adquiridos, con frecuencia, por el departamento de compras de la empresa, de acuerdo con la disponibilidad del material y la logística de transporte que ofrecen los proveedores cercanos para, de esta manera, cumplir con la planificación de la producción y garantizar la entrega a tiempo de las ordenes de fabricación vigentes.

**Figura 12**

*Tipos de polipropilenos más utilizando en el proceso de extrusión*



*Nota.* Elaboración propia.

Los aspectos fundamentales de los distintos tipos de polipropilenos, involucrados en esta investigación, se pueden visualizar en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
*Características de los materiales*

	<b>Tipo de Material</b>		
<b>Nombre</b>	<b>PP F-600</b>	<b>PP J-442</b>	<b>PP 05H82-AV</b>
Familia	Homopolímero	Copolímero	Homopolímero
Característica	Homopolímero de IF Nominal 8.0 para película tubular enfriada por agua. Bajo Valor de coeficiente de fricción y bajo nivel de bloqueo	Copolímero heterofásico de alta rigidez y bajo torque de apertura	Polipropileno de alta limpieza y procesabilidad estable, excelente control de espesor, fácil de estirar y orientar a altas velocidades.
<b>Aplicaciones</b>	<b>Empaques</b> <i>flexibles (alimentos y no alimentos)</i>	<b>Tapas ( bebidas carbonatadas, agua y jarabes)</b>	<b>Rafia</b> <i>(Cintas, sogas, cuerdas, sacos, supersacos, alfombras)</i>
Índice de fluidez	8,0 g/10 min	6,0 g/10 min	4,80 g/10 min

*Nota.* Elaboración propia.

Con base en las propiedades especificadas de los materiales, se establecieron los parámetros del proceso de extrusión con las temperaturas óptimas, considerando las correspondientes a la salida del buje, el tornillo sin fin, el filtro y los adaptadores, la bomba de fundido, el agua de la tina, el horno y las distintas zonas del cabezal.

También, se estableció la presión del filtro, las velocidades de la bomba y de estabilización de la máquina, así como las diferentes relaciones de los rodillos de estiraje, la relación de sujeción y de estabilización, de acuerdo con las especificaciones requeridas para la cinta de rafia, como el denier, la elongación, la tenacidad y la resistencia estándar, a fin de asegurar la calidad de los sacos de polipropileno.

Los formatos de procedimientos están establecidos y también están disponibles los certificados de calidad de cada tipo de polipropileno, identificado por el proveedor correspondiente, según algunos de los despachos realizados.

Antes de desarrollar el diseño estadístico, se estableció que, para realizar las mediciones de resistencia de las bobinas de cinta de rafia, de acuerdo con cada tipo de polipropileno y lote utilizado, el personal de Aseguramiento de la calidad en el Laboratorio técnico (figura 13) verifica que las bobinas de cinta de rafia correspondan a la carga establecida para el análisis. Además, se revisa que cada una de ellas tenga una apariencia lisa y uniforme, esté limpia, libres de lomos por exceso de tensión y que no estén golpeadas o mal embobinadas (Figura 14).

### **Figura 13.**

#### *Laboratorio Técnico de Aseguramiento de la Calidad*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 14.**

*Bobinas de cinta de rafia para el análisis en cuanto a resistencia.*



*Nota.* Elaboración propia.

La medición de la resistencia se realizó mediante un dinamómetro (Figura 15), esta muestra, en la pantalla, la resistencia expresada en Kgf (Figura 16). Este procedimiento fue efectuado con 60 bobinas. Se determinaron cinco parámetros de medición, para cada lote de polipropileno en cuestión.

**Figura 15**

*Dinamómetro*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 16**  
*Medición de resistencia*



*Nota.* Elaboración propia.

Todas las conclusiones fueron registradas en un formato de resultados de resistencias de bobinas de cinta de rafia, por tipo de polipropileno y lote, como se observa en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Registro de resistencias de bobinas de cinta por tipo de polipropileno y lote*

	<b>Resultado Resistencias</b>			<b>CC 00-435-003</b>
<b>Tipo Material</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>	<b>Lote 4</b>
PP F-600	4,32	3,98	4,48	4,04
	3,94	3,80	3,94	4,54
	4,62	4,44	4,56	4,08
	4,36	4,53	4,22	4,46
	4,30	4,58	4,20	4,42
f	4,31	4,30	4,28	4,31
δ	0,22	0,34	0,22	0,21
<b>Tipo Material</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>	<b>Lote 4</b>
PP J-442	4,32	3,98	4,48	4,04
	3,94	3,80	3,94	4,54
	4,62	4,44	4,56	4,08
	4,36	4,68	4,22	4,46
	4,30	4,58	4,20	4,42
f	4,31	4,30	4,28	4,31
0,22	0,22	0,34		0,21
<b>Tipo Material</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>	<b>Lote 4</b>
PP 05H82-AV	4,14	4,28	4,46	4,42
	4,10	5,38	4,66	4,72
	4,08	5,12	4,30	4,70
	4,36	5,18	4,28	4,26
	4,58	4,92	4,52	4,36
f	4,25	4,98	4,44	4,49
δ	0,19	0,38	0,14	0,19

*Nota.* Elaboración propia.

Una vez realizadas las mediciones de la resistencia de la cinta de rafia resultante, de cada uno de los lotes, por cada tipo de polipropileno investigados para este trabajo, se analizan los datos, considerando la estructura del diseño estadístico.

**Tabla 3**

*Lotes de cada tipo de polipropileno.*

Tipo de Material	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
P P F-600	20180200 9 (1)	20170200 9 (1)	2019201 0 (3)	2020201 1 (4)
P P J-442	20170730 2 (1)	20170745 1 (2)	2019085 3 (3)	2190846 3 (4)
P P 05H82- AV	20230845 1 (1)	20220106 9 (2)	2022859 4 (3)	2023647 6 (4)

*Nota.* Elaboración propia.

Seguidamente, se identificó y caracterizó cuáles eran los problemas básicos en el desarrollo de la producción.

**Variable respuesta.** Resistencia de la cinta de rafia (Y). Variable continua cuantitativa.

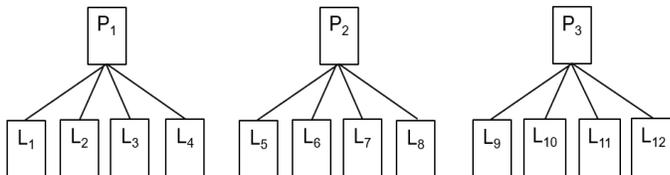
**Unidad de Medida de la VR.** kgf.

**Identificación del Diseño.** Lotes anidados bajo niveles de factor tipo del polipropileno, tratándose de un diseño anidado de dos etapas balanceado, con cinco réplicas.

***Estructura del Diseño***

Si el factor tipo de polipropileno (P) tiene tres niveles y el factor lote (L) tiene cuatro niveles anidados en cada nivel de P, la estructura del diseño se muestra como en la figura 17.

**Figura 17**  
*Estructura del Diseño*



*Nota.* Elaboración propia.

Caracterización y clasificación de los factores de estudio:

**Factor jerárquico.** Tipo de Polipropileno (P), cualitativo de efecto fijo.

Tres niveles denotados por: P1, P2 y P3.

**Factor anidado.** Lotes por tipo de polipropileno (L), cualitativo de efecto aleatorio.

Cuatro niveles denotados por: L1, L2, L3 y L4.

***Planteamiento del Modelo Estadístico y sus Elementos***

El modelo estadístico que describe el problema se expresa:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + L_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde  $i = 1,2,3; j = 1,2,3,4; k = 1, \dots, 5$

$\mu$  representa el efecto de la media global.

$P_i$  representa el efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor tipo de polipropileno.

$L_{j(i)}$  representa el efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor lote anidado en el nivel  $i$  del factor tipo de polipropileno.

$\varepsilon_{ijk}$  representa el efecto del error aleatorio, varianza constante e independencia.

Si el factor tipo de polipropileno se considera de efecto fijo y el factor lote se considera de efecto aleatorio, se tienen los siguientes supuestos:

$$Y_{ijk} \sim DNI (\mu + P_i, \sigma^2 + (\sigma_L)^2)$$

La variable de respuesta (Y) debe tener una distribución normal, afectada por la media global, además del efecto del factor tipo de polipropileno, y por la varianza dada por el factor lote, más la varianza del error.

$$\varepsilon_{ijk} \sim DNI (0, \sigma_\varepsilon^2)$$

Donde  $\sigma_\varepsilon^2$  representa la varianza del error. El error tiene que tener una distribución normal con media 0 y su varianza.

$$L_{j(i)} \sim DNI (0, \sigma_L^2)$$

Como se trata de un muestreo aleatorio, el factor lote requiere una distribución normal con una media 0 y su varianza.

$$\sum_{i=1}^3 P_i = 0 \text{ y } \sum_{j=1}^4 L_{j(i)} = 0 \quad \forall i = 1, 2, 3$$

Premisa. La suma de los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios debe ser nula para los factores.

$\sigma_\varepsilon^2$  es constante para todos los niveles de los factores.

A continuación, se estructura la tabla de los datos a utilizar en formato Minitab. Cada columna reflejará los niveles del factor tipo de polipropileno, lote y la variable respuesta Y.

Se identifica los tipos de polipropileno: tipo 1 es el PP F-600; el tipo 2 es el PP J-442; y el tipo 3 es el PP 05H82-AV.

**Tabla 4**

*Estadísticos descriptivos por el paquete estadístico Minitab®*

Variable	Media	Des.v. Est.	Varianza	Coef.Var	Q1	Q3	Asimetría
Resistencia de la cinta	4,2213	0,4662	0,2173	11,04	3,9850	4,4750	-0,61
Variable		Curtosis					
Resistencia de la cinta		2,38					

*Nota.* Elaboración propia.

El promedio o la media de la resistencia de la cinta de rafia es de 4,2213 Kgf, con una varianza de 0,2173 kgf<sup>2</sup>, siendo la variabilidad de las observaciones, respecto a su media y con una desviación de 0,4662 kgf, referente a la dispersión de los datos alrededor del promedio.

La asimetría, es - 0,61, significa que la distribución de los datos se sesga a la derecha, y la curtosis de 2,38, mostrando datos muy concentrados hacia la media. El coeficiente de variación es del 11,04 %, y esto indica que los datos de la variable respuesta pueden considerarse homogéneos.

El primer cuartil (Q1), es una medida estadística que divide el conjunto de datos ordenados en un segmento, es de 3,9850 Kgf, lo que quiere decir que el 25% de los datos es menor o igual que a este valor, y el tercer cuartil (Q3) es 4,4750 Kgf, con base al mismo fundamento, significa que el 75 % de los datos es menor o igual que a este valor.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los experimentos en la industria moderna son más complicados porque son muchos los factores, susceptibles de control, que afectan a los productos y/o procesos. Por esta razón, el Diseño de Experimentos es una manera efectiva de observar los posibles problemas y poder brindar una solución óptima para reducir las variables en cada proceso y, por ende, definir cuál será la mejor decisión (Rodríguez, 2019).

La empresa en cuestión adquiere la materia prima, tanto de origen importado como de producción nacional para mantener la continuidad de los procesos y cubrir con la demanda en los tiempos previstos. Por ello, utiliza distintos tipos de polipropileno en el proceso de extrusión y en la fabricación de las bobinas de cinta de rafia.

En los últimos dos años, debido a las dificultades para importar la materia prima y a los altos costos de logística y adquisición, las industrias se han visto en la necesidad de emplear materia prima nacional.

La recepción de la materia prima (PP), suministrada por distintos proveedores, es inspeccionada por los especialistas de Aseguramiento de la calidad de la empresa estudiada. Esta determina el tipo de polímero, el estado físico del empaque y del material, sus condiciones de almacenamiento e inocuidad. Además, mide la granulometría de los distintos lotes y verifica el contenido del certificado de calidad que debe tener coherencia con la información de la recepción.

La producción destinada a cubrir las demandas de las industrias de alimentos y del cemento ha registrado reclamos. Los sacos de rafia se rompen fácilmente durante el proceso de llenado de los materiales.

De acuerdo con las evidencias, las roturas afectan los fuelles, y las zonas frontal y dorsal de los sacos. Esto provoca pérdidas para la empresa, daños a equipos y riesgo a la seguridad.

Una de las causas potenciales del problema es, precisamente, la selección inadecuada del tipo de polipropileno utilizado en el proceso de fabricación. Si no se identifica con precisión el tipo de polipropileno que ofrece mejor resistencia en la elaboración de sacos de rafia. La empresa podría verse comprometida por el impacto negativo en la satisfacción de sus clientes en cuanto a la calidad de los productos y/o servicios que ofrecen, afectando su imagen y teniendo en riesgo la disminución de sus órdenes de fabricación.

Por ello, la empresa requiere comparar la calidad de la materia prima adquirida, identificando la que proporcione mayor resistencia ofrece en las cintas de rafia para la fabricación de sacos. Esto le permitirá tomar mejores decisiones en el aprovisionamiento y uso del tipo de material más adecuado para el proceso de extrusión, evitando, así, roturas durante los procesos de llenado.

Para ello, se realizó una comparación de la resistencia de las bobinas de cinta de rafia, fabricadas con diferentes tipos de polipropileno. Para llevar a cabo esta comparativa, se analizó si el efecto de los tipos de PP y de los distintos lotes de cada tipo, influye significativamente sobre la resistencia de la cinta (Kgf) en el proceso de extrusión para la fabricación de sacos de polipropileno.

Por tal motivo, se aplicó un diseño estadístico anidado de dos factores, considerando que es una situación experimental en la que los niveles de otro factor no son los mismos, al cambiar los niveles de otro factor, y se decidió aplicar este tipo de diseño estadístico tomando en cuenta que los niveles del factor lote están anidados en los niveles del factor tipo de polipropileno, destacando

que los datos tienen una estructura jerárquica, considerando los principios de aleatorización, replicación y control local de todo experimento, que permita realizar esta comparación.

Una de las variables a contralorar, para garantizar la conformidad del producto semielaborado (bobinas de cinta de rafia), es la resistencia, medida en Kgf, definida como la capacidad física de un cuerpo de soportar una fuerza de oposición durante un tiempo determinado, según lo estipulado en el instructivo de trabajo de análisis de cinta de rafia de la empresa.

Mediante el uso del dinamómetro es posible realizar ensayos en el laboratorio para determinar la medición de la resistencia y poder observar las variaciones que tengan las cintas de rafia de la empresa con distintos tipos de polipropilenos.

La resistencia de la cinta de rafia debe ser mayor a 4,2 Kgf, estándar establecido por la organización con la finalidad de garantizar un tejido resistente en la fabricación de los sacos y asegurar su calidad en los procesos de llenado de cada cliente para, así, evitar roturas del producto en el momento de descarga del material, en el traslado por las bandas transportadoras y en el impacto a la tracción, al momento de ser paletizado, hasta llegar al consumidor final.

La norma venezolana Covenin 2527-88 (1988) señala: *“En un proceso de fabricación de sacos tejidos de polipropileno, los sacos ensayados para evaluar su resistencia en la caída libre, no deberán romperse ni presentar pérdida del producto”*.

Por esta razón, los especialistas de aseguramiento de la calidad, en acatamiento de dicha norma, deben garantizar que, en la producción de las cintas de rafia en el área de extrusión, se cumpla con la especificación establecida en cuanto a la resistencia del saco de rafia en los procesos de tracción, llenado, transporte y paletizado, logrando la satisfacción del cliente y evitando las no

conformidades.

La evaluación de los datos presentados, en primero lugar conduce a construir el Anavar, cuyos elementos se desarrollan a continuación:

La hipótesis a probar e, establece un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ , de acuerdo con el:

***Tipo de polipropileno (factor jerárquico)***

:  $H_0 = 0$  para todo  $i = 1,2,3$ ; Ninguno de los niveles del factor tipo de polipropileno tiene un efecto significativo en la resistencia de la cinta de rafia.

:  $H_a \neq 0$  para algún  $i = 1,2,3$ ; Por lo menos uno de los niveles del factor tipo de polipropileno tiene un efecto significativo en la resistencia de la cinta de rafia.

***Lotes por tipo de polipropileno (Factor Anidado)***

$H_0 \sigma_L^2 = 0$ ; La variabilidad del factor lote por tipo de polipropileno no tiene un efecto significativo en la variabilidad de la resistencia de la cinta de rafia.

$H_a \sigma_L^2 > 0$ ; La variabilidad del factor lote por tipo de polipropileno tiene un efecto significativo en la variabilidad de la resistencia de la cinta de rafia.

**Tabla 5.**

*ANAVAR obtenido en MINITAB® e interpretación de los resultado*

Modelo lineal general: Resistencia de la cinta rafi vs. Tipo de Polipropileno. Lotes					
Método					
Codificación de factores ( -1. 0. +1 )					
Información del factor					
	Factor		Tipo	Niveles	
Valores					
Tipo de Polipropileno	Fijo	3		1. 2. 3.	
Lotes (Tipo de Polipropileno)	Aleatorio	12		1 (1). 2(1). 3(1) 4(1). 5(2). 6(2). 7(2). 8(2). 9(3). 10(3). 11(3). 12(3)	
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de Polipropileno	2	5,303 2,6514	16,30 0,001	Lotes (Tipo de Polipropileno)	9 1,464 0,1626
		1,29 0,267			
Error	48	6,056	0,1262		
Total	59	12,822			

*Nota.* Elaboración propia.

Del ANAVAR obtenido previamente se puede indicar lo siguiente:

- a) Los GL del factor tipo de polipropileno serian  $p - 1 = 3 - 1 = 2$ .
- b) Los GL del factor lote por tipo de polipropileno serian  $p(l-1) = 3(4-1) = 9$ .
- c) Los GL del error sería  $pl (n-1) = (3)(4) (5-1) = 48$ . También se puede calcular restando los grados de libertad del total con los de los factores  $(59 - 9 - 2 = 48)$ .
- d) Los GL del total sería  $pln-1 = (3)(4)(5)-1 = 59$ .

Considerando la regla de decisión:  $F \text{ calculado} > F \text{ tabulado}$ , se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alterna. En base a esto se tiene:

El F calculado del factor tipo de polipropileno es  $16,30 > F$  tabulado  $(0,05,2,48) = 3,191$ , y el F calculado del factor lote por tipo de polipropileno es  $1,29 < F$  tabulado  $(0,05,9,48) = 2,082$ . Para el caso del factor tipo de polipropileno, existe evidencia para rechazar la hipótesis nula, es decir, con un 95 % de confianza, el tipo de polipropileno es significativo en la respuesta, pero para el factor lote por tipo de polipropileno, se acepta la hipótesis nula, por lo que la variabilidad de los lotes, no tiene un efecto significativo en la variabilidad de la respuesta.

Mediante la gráfica de efectos principales, se puede examinar las diferencias entre las medias de nivel para los factores, como se muestra en la figura 18.

**Figura 18.**

*Efectos principales para la resistencia de la cinta.*



Nota. Elaboración propia.

De la gráfica obtenida, se visualiza que el tipo de polipropileno 3 presenta mayor resistencia de la cinta de rafia en comparación con el tipo de polipropileno 1 y 2. En este punto se observa, claramente, que el tipo de polipropileno 2 tiene una tasa media

de resistencia menor que la de los tipos 1 y 3, estando fuera de especificación de acuerdo al estándar esperado ( $> 4,2$  Kgf) en la producción de bobinas de cinta de rafia resultantes del proceso de extrusión. Sin embargo, los tipos de polipropileno 1 y 3, si están dentro de especificación.

En referencia a los lotes, se puede observar que los lotes 1,2,3 y 4 del PP F-600 (tipo 1) y los lotes 9,10, 11 y 12 del PP 05H82-AV (tipo 3) tiene una probada resistencia de la cinta mayor a la media, pero los lotes 5,6,7 y 8 del PP J-442 presentan una resistencia de la cinta menor al promedio. Es importante destacar que le media de la variable respuesta de este estudio, es justamente el límite mínimo de especificación.

De acuerdo con estos resultados, se realiza el ensayo de sacos fabricados de cada tipo de polipropileno para determinar su resistencia a la caída libre, a través de un equipo de prueba de impacto (Figura 19a) estipulado en la Norma COVENIN 2527-88, en donde se llena y se cierra el saco de una mezcla de arena y aserrín, o de otro material que tenga aproximadamente la misma densidad aparente y granulometría del producto a ensacar, y se deja caer el saco desde una altura de tres metros (3 m) sobre una superficie plana y horizontal, efectuando tres impactos, uno por cada cara y uno por el fondo.

Efectivamente el saco fabricado con el tipo de polipropileno J-442, rompe en el primer impacto al realizar la prueba (Figura 19b), mientras que lo sacos fabricados con el PP F-600 y 05H82-AV, resisten a los tres impactos.

## Figura 19

*Ensayo de caída libre de sacos de polipropileno*

*a) Equipo de prueba de impacto*

*b) Rotura en el primer impacto de saco fabricado con PP J-442.*



*Nota.* Elaboración propia.

## Conclusiones

La elección del tipo de polipropileno para la fabricación de sacos de rafia depende de diversos factores, siendo la resistencia uno de los más importantes. El diseño anidado escogido para este estudio sobre la resistencia de los sacos de rafia, según el tipo de polipropileno, proporcionó una herramienta valiosa para evaluar con eficiencia la influencia de dos factores en la variable respuesta.

La metodología estadística ofreció mayor precisión, control de la variabilidad y eficiencia en comparación con otros diseños experimentales. Aplicado el diseño anidado de dos etapas en este estudio, se concluyó lo siguiente:

Con un 95 % de confianza, se determinó que, al menos, uno de los niveles del factor tipo de polipropileno tiene un efecto significativo en la resistencia de la cinta de rafia, medida en Kgf.

Se puede decir que, con un 95 % de confianza, se estableció que la variabilidad del factor lote por tipo de polipropileno no tiene un efecto significativo en la variabilidad de la resistencia de cinta de rafia.

Nuestros resultados revelan que el tipo de PP tiene un efecto significativo en la resistencia de la cinta, lo que confirma nuestra hipótesis y sugiere que la selección del material adecuado, puede tener un impacto considerable en la calidad de los sacos de rafia.

Por este motivo, identificar el tipo de polipropileno que ofrece la mayor resistencia podría traducirse en una reducción de las roturas, cuando se realiza el llenado y transporte de los sacos.

Nuestros hallazgos indican que la variabilidad del factor lote, por tipo de PP, no tiene un efecto significativo en la variabilidad de la resistencia de la cinta.

Esta evidencia sugiere que, una vez seleccionado el tipo de polipropileno adecuado, la empresa podría confiar en la consistencia de la calidad de la cinta, independientemente del lote de producción.

Esta investigación proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas sobre la selección de materiales en la industria de fabricación de sacos de rafia. Al comprender mejor la relación entre el tipo de polipropileno y la resistencia de la cinta, las empresas podrán optimizar sus procesos de producción, mejorar la calidad de sus productos y reducir los costos asociados con las roturas y las devoluciones.

Este estudio contribuye al cuerpo de conocimiento existente sobre la relación entre las propiedades del PP y el desempeño de los productos de embalaje. Los resultados obtenidos pueden servir como base para futuras investigaciones en este campo (evidencia), así como para el desarrollo de modelos teóricos que

permitan predecir la resistencia de la tela de rafia, en función con el tipo de polipropileno utilizado y las variables derivadas del proceso de extrusión.

Entre las líneas de investigación futuras, se podría explorar el de otras variables del proceso de extrusión (temperatura, presión, velocidad de extrusión) en la resistencia de la cinta de rafia; investigar la relación entre la microestructura del polipropileno (cristalinidad, orientación molecular) y la resistencia de la tela de rafia; evaluar otras propiedades importantes de los sacos de rafia (resistencia al desgarro, permeabilidad al aire, resistencia a la radiación UV) según el tipo de polipropileno utilizado; realizar estudios comparativos con otros materiales empleados en la fabricación de sacos de rafia (polietileno, poliamida, etcétera) o desarrollar modelos predictivos que permitan optimizar la selección de materiales y el diseño de sacos de rafia, de acuerdo con los requerimientos específicos para cada aplicación.

Esta investigación proporciona información valiosa para las empresas del sector al ofrecer criterios técnicos y económicos para la toma de decisiones sobre la selección de materiales y la optimización de los procesos productivos.

Los resultados obtenidos se alinean con la línea editorial de la *Revista Andina de Investigaciones en Ciencias Económicas y Empresariales*, ya que contribuyen al conocimiento en áreas como la gestión empresarial, la economía industrial y la innovación tecnológica.

El propósito final de esta investigación es de sea de interés para los lectores de la revista porque proporciona herramientas y métodos para mejorar la competitividad y la gestión de la calidad en sus empresas.

## REFERENCIAS

- Arias, F. (2012). *Introducción a la metodología científica* (6.<sup>a</sup> ed.). Documento en línea. Consultado en diciembre de 2019. <https://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/ELPROYECTO-DE-INVESTIGACION-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>
- Aristegui, M. (2017). *Método de extrusión, su proceso y aplicación*. <https://www.aristegui.info/metodo-de-extrusion-su-proceso-y-aplicacion/>
- Balestrini, M. (2009). *Cómo se elabora el proyecto de investigación*. Editorial Consultores Asociados.
- Envaselia. (2018). *¿Qué es el polipropileno?* <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polipropileno-id13.html>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2.<sup>a</sup> ed.). México.
- Hurtado, J. (2012). *Metodología de la investigación holística* (3.<sup>a</sup> ed.). <https://metodologiaecs.wordpress.com/>
- Ildefonso, J. (2007). *Los plásticos*. [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/iesalfonso\\_romero\\_barcojo/departamentos/](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/iesalfonso_romero_barcojo/departamentos/)
- Ledezma, J. (2022). *Introducción a los materiales poliméricos: polipropileno y sus copolímeros*. Universidad de Antioquia.
- Morales, J. (2014). *Diseño de una máquina extrusora de plásticos PET*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Norma COVENIN 2527-88. (1988). *Sacos tejidos de polipropileno*. <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2527-1988.pdf>
- Ojeda, M. (2011). *Extrusión de materiales plásticos. Tecnología de los Plásticos*. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>
- Propilven. (2017). *Información técnica – comercial Propilven*. <https://es.scribd.com/document/425126804/Catalogo-Propilven>

Rodríguez, J. (2019). *Los tres beneficios de usar diseño de experimentos*.  
<https://spcgroup.com.mx/los-tres-beneficios-de-usar-diseno-de-experimentos/>

Villalobos, L. (2011). *Estudio comparativo entre dos algoritmos basados en poblaciones mediante un diseño de experimentos anidado*. Guanajuato, México.