



Implementación de hojas de proceso para estandarizar variables operacionales de la vulcanización de cauchos empleados en empaques de motocicletas

María José Olivero Carrascal

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero de Materiales

Asesores

Maite Joanne Martins Palencia, Ingeniera Química, Magíster (MSc)

Diego Hernán Giraldo Vásquez, Ingeniero Mecánico, Doctor en Ingeniería

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Materiales

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	Olivero Carrascal [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] M. J. Olivero Carrascal, “Implementación de hojas de proceso para estandarizar variables operacionales de la vulcanización de cauchos empleados en empaques de motocicletas”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Francisco Javier Herrera Builes

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado especialmente a mis padres, Ligia y Omar, quienes a pesar de la distancia y de los años, siempre confiaron en mí y con una sola palabra llena de aliento, amor y paciencia me reconfortaban para continuar sin miedo. Muchas gracias por cumplir cada uno de mis sueños y acompañarme en este proceso lleno de sacrificios, pero a la vez enriquecedor en todos los sentidos.

Agradecimientos

Al concluir este ciclo académico quiero extender un profundo agradecimiento a quienes estuvieron presentes en esta etapa y fueron de gran apoyo durante todo el proceso:

Al profesor Diego Giraldo, por asesorarme durante todo este tiempo y por su total entrega. Reitero mi gran admiración hacia usted por la pasión que siempre demuestra en su trabajo.

A Julián Muñoz, por creer en mí y por siempre estar orgulloso de cada uno de mis logros.

A mis compañeros de carrera más allegados, Esteban, Mateo y Marinela, quienes siempre estaban listos para asumir cada situación con compromiso y dedicación, aprendí muchas cosas de ustedes no solamente en el aspecto académico sino también personal y para la vida.

Por último, a Darrow como empresa, a Maite Martins y Felipe Arroyave, por compartir su experiencia y conocimiento conmigo, por la paciencia y el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3. OBJETIVOS	11
<i>3.1 Objetivo general</i>	11
<i>3.2 Objetivos específicos</i>	11
4. MARCO TEÓRICO	12
<i>4.1 Definición de elastómero</i>	12
<i>4.2 Formulación del caucho</i>	12
<i>4.3 Caucho acrilonitrilo – butadieno (NBR)</i>	14
<i>4.4 Introducción al proceso de vulcanización de elastómeros</i>	18
<i>4.5 Proceso de vulcanización de moldeo por compresión</i>	21
<i>4.6 Sistema de gestión de la calidad</i>	27
<i>4.7 Proceso de estandarización</i>	34
5. METODOLOGÍA	35
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	41
7. CONCLUSIONES	52
8. REFERENCIAS	53

RESUMEN

La industria automotriz es uno de los sectores manufactureros más importantes de Colombia por su nivel de participación en la economía nacional. Está compuesto por diversas líneas de negocio como la fabricación de autopartes, sector en el que se encuentra Darrow, Soluciones Para Tu Moto, empresa dedicada a la fabricación de empaques y otro tipo de repuestos para motocicletas. Este trabajo tiene como objetivo la construcción e implementación de hojas de proceso y control como herramienta de estandarización para la fabricación de los empaques en caucho conocidos como culatín y taza de carburador. Para lograr esto se realizó un trabajo práctico en el sector cauchos de la empresa que incluye el conocimiento del proceso y trabajar en forma colaborativa con el departamento de ingeniería, el área de calidad y los operarios del sector. Se lograron realizar 48 hojas de proceso y control, 30 para culatines y 18 para tazas de carburador, de 60 que se tenían como meta al inicio de este proyecto, las cuales, se ponen a disposición para su socialización e implementación cuando son revisadas y aprobadas. Además, con la finalidad de encontrar un T90 estándar para el compuesto de caucho color negro fabricado en Darrow, se analizó su comportamiento durante un período de almacenamiento de 12 días, teniendo como resultado un T90 estándar de 1 minuto con 27 segundos.

***Palabras clave* — Empaques, hojas de proceso y control, estandarizar, parámetros de proceso.**

ABSTRACT

The automotive industry is one of the most important manufacturing sectors in Colombia due to its level of participation in the national economy. It is made up of various lines of business such as the manufacture of auto parts, a sector in which Darrow, Soluciones Para Tu Moto is located, a company dedicated to the manufacture of gaskets and other types of motorcycle parts. The objective of this work is the construction and implementation of process routing sheets as a standardization tool for the manufacture of rubber gaskets known as culatín and taza de carburador. To achieve this, practical work was carried out in the rubber sector of the company that includes knowledge of the process and working collaboratively with the engineering department, the quality area and the operators of the sector. 48 process routing sheets were made, 30 for culatines and 18 for tazas de carburador, out of 60 that were targeted at the beginning of this project, which are made available for socialization and implementation when they are reviewed and approved. In addition, in order to find a standard T90 for the black rubber compound manufactured in Darrow, its behavior was analyzed during a storage period of 12 days, resulting in a standard T90 of 1 minute with 27 seconds.

Keywords — Gaskets, process routing sheets, standardize, process parameters

1. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz en Colombia, además de jugar un papel importante en la economía nacional, cuenta con muchos años de experiencia, factores que han llevado a este sector a ser uno de los más grandes en términos de volumen de producción [1]. Está compuesto por las actividades de ensamble de vehículos, motocicletas y fabricación de autopartes, siendo esta última, la cadena productiva que comprende la fabricación de partes y piezas utilizadas en el ensamble y como repuestos, respondiendo a una línea de transformación de materias primas [2].

Empaquetaduras Darrow S.A.S. que recientemente se transformó en Darrow, Soluciones Para Tu Moto¹, es una empresa familiar colombiana fundada por el señor Daniel Elías Arroyave Agudelo en 1975 en el barrio Campo Valdés de la ciudad de Medellín. Actualmente, está ubicada en el sector de La Bayadera de esta ciudad y cuenta con más de 180 colaboradores. Dedicada a la fabricación de repuestos conocidos como repuestos genéricos en el mercado, tiene más de 3000 referencias y hacen parte de su amplio portafolio empaques, cauchos campana, diafragmas, retenedores, sellos de válvula, o-rings, productos eléctricos y electrónicos de la marca Partnecol y nuevos desarrollos como la silicona Darrow. Su capacidad técnica y logística ha permitido que sus productos lleguen a 11 países de Latinoamérica, entre los que se destacan México, Panamá, Guatemala, El Salvador, Costa Rica, Perú y Chile, llamando esto la atención de otras empresas del sector como la ya mencionada Partnecol y TEADIT Group con las que ha cerrado negociaciones [3]. Desde el área de innovación y desarrollo, esta empresa le apuesta al crecimiento continuo, mediante la planeación de proyectos que incluyen la adquisición de nuevos equipos, siendo un claro ejemplo de ello una inyectora de cauchos que promete beneficios en materia de producción.

En este trabajo, son de especial interés las referencias de empaques conocidas como culatines y tazas de carburador (**Fig. 1**), identificadas en Darrow con códigos que inician con 17H y 12C, respectivamente. Se seleccionaron estas referencias porque son fabricadas directamente por Darrow en su planta de producción y además son las creadas con mayor frecuencia. Entrando en el contexto específico de la temática de este informe, y de acuerdo con lo establecido en literatura

¹ Empaquetaduras Darrow S.A.S continúa siendo la razón social, pero la marca y logo de la empresa cambiaron a Darrow, Soluciones Para Tu Moto.

especializada, las empaquetaduras o empaques, de manera general, tienen como función principal servir de junta, para garantizar el ajuste entre dos superficies de contacto planas proporcionando un medio para evitar fugas desde o hacia las características unidas, por lo tanto, lo primordial es asegurar hermeticidad y superar las micro-irregularidades de las superficies [4] [5]. La producción de estas referencias implica usar como materia prima un tipo de caucho sintético conocido como caucho nitrilo, o NBR por corresponder a la sigla en inglés de caucho acrilonitrilo butadieno. A partir de este material, se obtienen compuestos de cauchos de distintos calibres y colores. Los culatines y las tacitas, como los operarios suelen llamarlos, se fabrican mediante un proceso de moldeo por compresión en el sector cauchos de la planta de producción, empleando vulcanizadoras automáticas y de presión hidráulica.

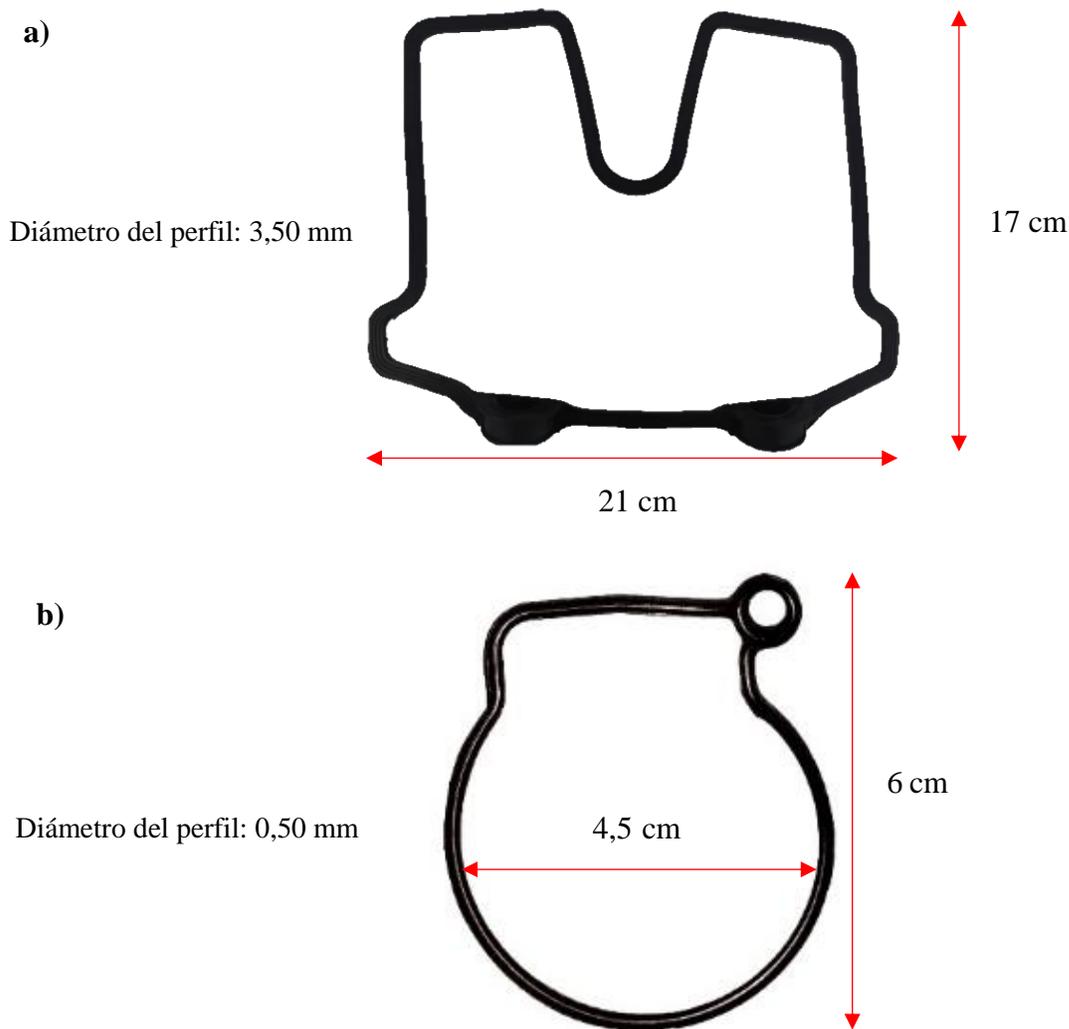


Fig. 1. a) Culatín b) Taza de carburador. Se indican las dimensiones generales. [Elaboración Propia].

La razón de ser de este proyecto surge de que, en la fabricación de productos de caucho, como sucede con todo proceso de manufactura, el control de calidad es esencial en la producción de piezas que cumplan con los requerimientos necesarios. Anteriormente, un sistema de gestión de calidad se centraba casi por completo en las expectativas del cliente, pero, aunque sigue siendo así, en la actualidad los procedimientos de control de calidad han evolucionado para incluir la totalidad de los procesos de fabricación. Este enfoque más inclusivo, exige una evaluación constante de esos procesos y su éxito depende de abrir la comunicación y crear un diálogo continuo entre la gerencia, el área de ingeniería, el personal del área de calidad y los operarios [6]. En el caso de Darrow, esto se logra mediante el monitoreo de los compuestos de caucho empleando como parámetros de calidad ensayos de reometría y dureza, la examinación en producción de las variables operacionales asociadas al proceso, además, la observación y prueba de las piezas terminadas también se pueden considerar como métodos para identificar si finalmente el producto obtenido es conforme.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector automotor es reconocido a nivel mundial como un sector “punto de lanza” del desarrollo económico y social, por sus múltiples efectos de arrastre sobre una amplia gama de campos de la actividad industrial. Los permanentes aportes a la innovación y transferencia de tecnología, elevados estándares de calidad, constantes mejoras en procesos de manufactura y logística, encadenamientos productivos en múltiples sectores con estándares globales (químico, metalmecánico, eléctrico, textil, plásticos, vidrios, cauchos y tecnologías de la información, entre otros) y la generación de empleo formal altamente calificado lo hacen líder y punto fuerte para el desarrollo de Colombia [7]. Según registros hasta el año 2019, constituyó el 6,2% del PIB de este país, ubicándose también como el cuarto mayor fabricante de vehículos y el segundo de motocicletas en Latinoamérica [8] [9]. Empresas reconocidas en este mercado, como GM Colmotores y Sofasa Renault, de la industria de vehículos, AKT motos e Incolmotos Yamaha, de la industria de motos, por mencionar algunas, hacen parte de un tejido empresarial compuesto por ensambladoras y fabricantes de partes y accesorios con potencial para atender el mercado local y exportar a la región [9].

Está más que demostrada la importancia del sector, y para que las empresas se mantengan competitivas en el mercado actual, es muy importante garantizar la consistencia en sus operaciones.

Darrow, Soluciones Para Tu Moto, es una mediana empresa perteneciente a esta industria, que, a pesar de tener más de 40 años de experiencia en el mercado, antes de la realización de este proyecto, contaba con pocos estándares que además de no ser implementados, carecían de organización, datos, y especificaciones relevantes para la fabricación de los culatines y tazas de carburador, referencias objeto de estudio en este trabajo. En el proceso de manufactura, eran evidentes las diferentes formas de ejecutar el mismo proceso por parte de diferentes trabajadores, a causa de los diferentes niveles de habilidad, educación o experiencia, adicionando a esto el desgaste natural que sufren los equipos debido al uso continuo, todo esto hace que sea mucho más difícil mantener la consistencia requerida, reflejándose principalmente en variaciones del proceso y finalmente en los productos fabricados. Es aquí donde la estandarización de procesos se convierte en herramienta clave o en un puente para dar solución a esta problemática, porque permite la documentación de la mejor manera de realizar un trabajo [10], trayendo como beneficios para una empresa el aumento del rendimiento operativo, la reducción de costos mediante la disminución de errores de proceso, la facilitación de la comunicación y el aprovechamiento del conocimiento experto [11]. Por consiguiente, se plantea la implementación de hojas de proceso y control como instrumento para plasmar un punto de referencia que ayude a cumplir consistentemente con los estándares, y de esta manera lograr alcanzar un proceso conforme y estable.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Implementar hojas de proceso y control para estandarizar las variables operacionales de la fabricación de culatines y tazas de carburador en Darrow, Soluciones Para Tu Moto.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar en planta las variables operacionales que permitan llevar a cabo de la mejor manera la fabricación de culatines y tazas de carburador.
- Proponer un formato de hoja de proceso adecuado que brinde información detallada sobre las características de la referencia, materias primas y descripción del proceso, acompañado de soporte fotográfico en caso de ser necesario.
- Promover en el sector cauchos de la empresa la aplicación de las hojas de proceso desarrolladas para cada una de las referencias estudiadas.
- Encontrar un tiempo de curado óptimo estándar (T90) para el compuesto de caucho color negro fabricado en Darrow por ser la materia prima más importante usada en el sector cauchos de la empresa.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Definición de elastómero

Un elastómero, llamado en algunos entornos también con el término caucho, es un material polimérico termoestable, amorfo y de naturaleza viscoelástica, que a temperatura ambiente es relativamente blando y deformable. Por lo general, tienen un módulo de Young notablemente bajo y una alta deformación en la rotura en comparación con otros materiales [12]. En la literatura, se encuentran divididos según su origen en cauchos naturales y sintéticos; dentro de este último grupo, como se había mencionado en la parte introductoria, se encuentra el NBR, que será estudiado más adelante en este capítulo.

4.2 Formulación del caucho

El caucho en su estado inicial como materia prima exhibe propiedades mecánicas y térmicas insuficientes para ser usado en aplicaciones industriales, por lo tanto, para mejorar su comportamiento, en un proceso denominado formulación se agregan varios ingredientes a la matriz de caucho, con la finalidad de mejorar sus propiedades funcionales. En otras palabras, se seleccionan y combinan elastómeros y aditivos para obtener una mezcla uniforme que adquirirá las propiedades físicas y químicas necesarias para el producto terminado. La **Fig. 2**, muestra los objetivos que se quieren alcanzar cuando se realiza esta formulación [13].

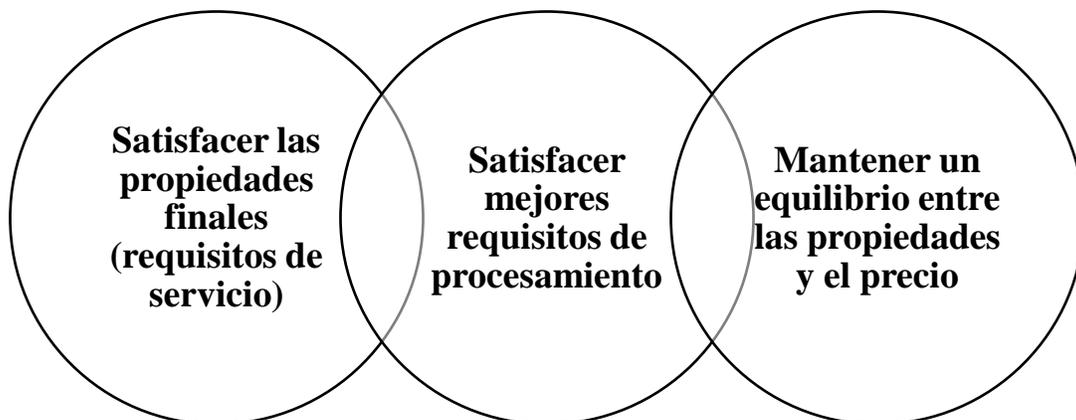


Fig. 2. Objetivos principales de la formulación de mezclas de caucho [13].

Los requisitos de procesamiento incluyen la mezcla adecuada (incorporación, dispersión y plastificación) de los ingredientes en la matriz elastomérica. Es pertinente tener en cuenta que el ingrediente clave en la lista es el elastómero, por lo tanto, siempre está en la parte superior de la formulación y se expresa como 100 partes en peso de la receta total, el resto, está conformada por agentes de reticulación, acelerantes, activadores y retardantes, antidegradantes (antioxidantes y antiozonantes), rellenos (reforzantes y no reforzantes), ayudas de proceso (peptizantes, plastificantes, etc.), materiales para fines especiales y para colorear. Se usa el término phr (partes por cien de caucho) para expresar el peso de estos ingredientes en la formulación. Una adecuada selección del elastómero y de los ingredientes depende de los requisitos de servicio, el costo y la facilidad de procesamiento [13], como se expresó también en la figura 2.

De acuerdo con lo consultado en bibliografía especializada, estos componentes se pueden dividir en 5 categorías [14]:

- 1. Elastómero:** Puede ser un caucho natural, un caucho sintético o mezclas de ellos [14].
- 2. Sistemas de relleno:** Los rellenos o auxiliares de refuerzo, como el negro de humo, las arcillas y la sílice, se agregan a las formulaciones de caucho para mejorar las propiedades del material, como la resistencia a la tracción y la resistencia a la abrasión. La tecnología del negro de humo es tan compleja como la ciencia de los polímeros, y hay disponible una amplia gama, cada uno de los cuales imparte conjuntos específicos de propiedades a un compuesto. Por lo tanto, la elección correcta es tan importante como el desarrollo del sistema polimérico de una formulación para cumplir con la especificación de rendimiento del producto [14].
- 3. Sistemas estabilizadores:** La mayoría de los elastómeros contienen hidrocarburos insaturados, lo que hace que estén sujetos al ataque tanto del oxígeno como del ozono, la luz y los iones metálicos. Por lo tanto, sus propiedades disminuyen con un aumento en el período de servicio. Los antidegradantes protegen los compuestos de caucho contra el ataque del oxígeno y el ozono, por lo cual se pueden clasificar como antioxidantes o antiozonantes. Los niveles de carga típicos usados en mezclas de caucho son del orden de 1-4 phr [13].
- 4. Componentes del sistema de vulcanización:** Un sistema de vulcanización típico en un compuesto de caucho consta de tres componentes [14]:

- **Activadores:** Los activadores son sustancias químicas inorgánicas y orgánicas que se utilizan para activar la acción de los acelerantes. El óxido de zinc se usa generalmente en combinación con un ácido graso (ácido esteárico) para formar un estearato de zinc, siendo este el sistema activador generalmente utilizado en compuestos curados con azufre. La dosis normal de óxido de zinc es de 2 a 5 phr y de ácido esteárico de 1 a 4 phr. Cuanto más fino es el tamaño de partícula del óxido de zinc, mayor es su eficacia como activador [13].
- **Agentes de vulcanización:** Los agentes de curado o de vulcanización generalmente utilizados son azufre, peróxidos y óxidos metálicos. Estos materiales se utilizan para reticular la matriz de caucho formando diferentes tipos de enlaces, como carbono-carbono, carbono-azufre y azufre-azufre. La energía de enlace depende del tipo de reticulación formada en la matriz elastomérica. En el numeral 4.3 se mencionarán aspectos generales del azufre como agente de vulcanización [13].
- **Acelerantes:** Los acelerantes son productos que aumentan tanto la tasa de reticulación de azufre en un compuesto de caucho como la densidad de reticulación [14]. Se clasifican según la estructura química y la acción funcional. Ejemplos de tipos de acelerantes basados en su estructura química son, tiazoles, sulfenamidas, ditocarbamatos, etc. [13].

5. Materiales especiales: Además de los cuatro componentes mencionados anteriormente, en las mezclas de caucho se pueden usar una variedad de materiales como pigmentos, aceites, resinas, ayudantes de proceso y fibras cortas que generan unos efectos secundarios sobre las propiedades de la mezcla de caucho luego de vulcanizada [14].

4.3 Caucho acrilonitrilo – butadieno (NBR)

El NBR (**Fig. 4**) es un copolímero altamente polar de butadieno y acrilonitrilo (ACN) que se produce mediante polimerización por emulsión, como se representa en la **Fig. 3** [13-15]. Es considerado la materia prima que brinda la mejor relación costo beneficio [12] en las industrias de productos de caucho industriales y automotrices, y, además, es en realidad una familia compleja de copolímeros insaturados de acrilonitrilo y butadieno [12]. Dentro de las principales marcas comerciales de NBR se encuentran Perbunan de la empresa Lanxess Speciality Chemicals, Europrene de Polimeri Europa y Zetpol de Zeon Chemical, Baymod N y Krynac de Arlanxco, siendo esta última la base elastomérica empleada en Darrow actualmente, la cual, es usada por la

empresa debido a tres razones principales, su excelente resistencia al hinchamiento en aceites y combustibles, por su buena adherencia a metales, que en este caso se hace alusión a los insertos metálicos que hacen parte de algunas referencias de culatines y porque es un polímero multipropósito que ofrece una velocidad media de curado. [16].

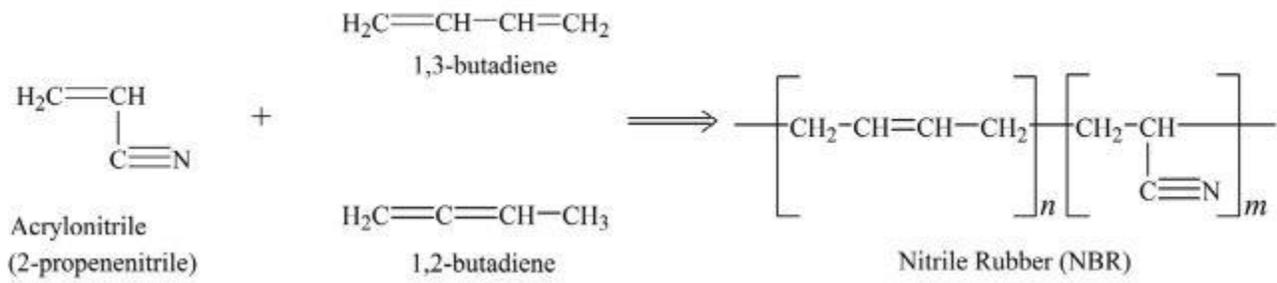


Fig. 3. Monómeros empleados y estructura del polímero NBR [12].



Fig. 4. NBR usado como materia prima en Darrow [Elaboración Propia].

Existen varios tipos de NBR de acuerdo con el método de polimerización usado para su síntesis [16]; en este documento se presenta una breve descripción del *cold* NBR ya que es el tipo de NBR usado en Darrow, mientras para los demás solo se mencionarán sus nombres, ya que no es una temática que hace parte de los objetivos del proyecto:

- *Cold NBR*: Es el tipo de NBR más usado comercialmente. Tiene un contenido de acrilonitrilo que oscila entre el 15 % y el 51 %. Se polimeriza en un rango de temperatura de 5 a 15 °C, según el equilibrio deseado de configuración lineal a ramificada. Las temperaturas de polimerización bajas producen cadenas poliméricas más lineales [16].
- *Hot NBR*
- *Crosslinked hot NBR*
- *Carboxylated nitrile (XNBR)*
- *Bound antioxidant NBR*
- *Hydrogenated nitrile butadiene rubber (HNBR)*

4.3.1 Propiedades del NBR

La cantidad de acrilonitrilo en el polímero, que usualmente oscila entre el 18 y 50% [13], se elige según las propiedades deseadas para el elastómero. La **TABLA I**, muestra por ejemplo que un aumento en el contenido de acrilonitrilo (ACN), conduce a una mayor dureza, resistencia a la abrasión y al calor, resistencia al aceite / combustible, y menor resiliencia y flexibilidad a bajas temperaturas [17], de igual forma se ha encontrado que, el butadieno, por el contrario, confiere esta propiedad de flexibilidad mencionada y propiedades de vulcanización del azufre [18].

TABLA I. EFECTO DEL CONTENIDO DE ACRILONITRILO (ACN) EN LAS PROPIEDADES DEL NBR [13].

Alto contenido de ACN	←—————→	Bajo contenido de ACN
←—————	Resistencia a aceite y combustible	
←—————	Dureza	
←—————	Resistencia a la abrasión	
←—————	Mejora de la resistencia a la tracción	
←—————	Impermeabilidad a los gases	
←—————	Resistencia al calor	
←—————	Procesamiento y compatibilidad con plásticos	

*Esta tabla continúa en la página siguiente.

Alto contenido de ACN	←—————→	Bajo contenido de ACN
	Mejora de la resiliencia	—————→
	Compatibilidad con plastificantes	—————→
	Flexibilidad a baja temperatura	—————→
	<i>Compression set</i> disminuye	—————→

4.3.2 Aplicaciones

Las aplicaciones del NBR son amplias e incluyen guantes para la industria de la salud, correas de transmisión automotriz, correas trapezoidales o en “V”, modificación de ABS y PVC, cintas transportadoras, calzado, revestimiento para cables y debido a su excelente resistencia al aceite y al combustible es usado en empaquetaduras, o-rings y mangueras para combustible en gasolineras [13– 19]. Para efectos de este estudio, en el siguiente apartado se estudiará la aplicación relacionada con empaquetaduras, conocidas en inglés como *gaskets*.

4.3.2.1 Introducción: EMPAQUETADURAS (*Gaskets*)

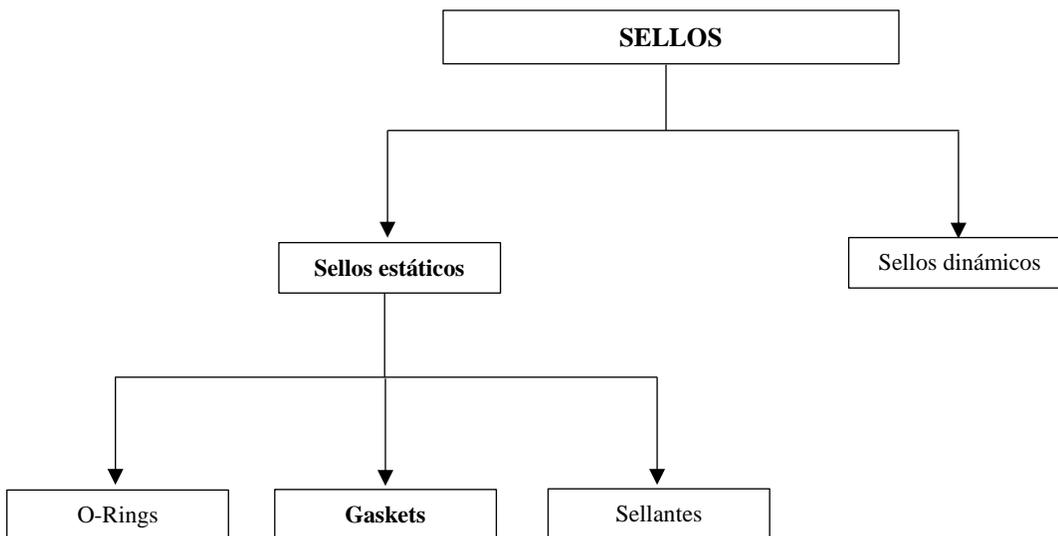


Fig. 5. Diagrama de clasificación de los sellos [20].

Es conveniente empezar hablando del término sello, usado para referirse a elementos que tienen como propósito prevenir o limitar la fuga de fluidos o partículas y cualquier separación entre los componentes permitirá el paso de moléculas de fluido en cualquier dirección, dependiendo esto de la orientación de las presiones y el momento asociado con el fluido. Este último puede moverse entre diferentes regiones del espacio por medio de difusión, convección libre o convección forzada. Los sellos constituyen parte importante del diseño de una máquina donde los fluidos presurizados deben estar contenidos dentro de un área, como un cilindro hidráulico, por poner un ejemplo [20]. El diagrama de la **Fig. 5**, muestra la clasificación de los sellos. Se dividen en dos categorías generales:

- **Sellos estáticos:** El sellado tiene lugar entre dos superficies que no se mueven entre sí. Las empaquetaduras o *gaskets* se encuentran en el grupo de los sellos estáticos [20].
- **Sellos dinámicos:** El sellado tiene lugar entre dos superficies que se mueven entre sí, por ejemplo, mediante un movimiento giratorio o alternativo [20].

4.3.2.2 Gaskets

Los *gaskets* se utilizan para crear una unión hermética entre dos superficies [21], es decir, su función es proporcionar una barrera física completa al flujo de fugas [20]. Para conseguirlo, el material del que está fabricado debe ser lo suficientemente elástico como para fluir y llenar cualquier irregularidad de las superficies que se sellan y, al mismo tiempo, permanecer lo suficientemente rígido como para resistir la extrusión en los espacios libres. Las empaquetaduras elastoméricas cumplen estos criterios, aunque es pertinente mencionar que la elección del material depende de la temperatura de operación, el tipo de fluido contenido y la tasa de fuga que se puede tolerar [20]. En este documento los *gaskets* estudiados son los culatines y las tazas de carburador, elementos mostrados en la **Fig. 1** de este documento.

4.4 Introducción al proceso de vulcanización de elastómeros

En este apartado se estudia la vulcanización como técnica de procesamiento empleada para la fabricación de los empaques estudiados. Para comenzar, es importante decir, que es un proceso necesario para la transformación del elastómero base en artículos de interés industrial, como

neumáticos y artículos mecánicos. El primer método de vulcanización (calentar caucho natural con azufre) es un tema que genera controversia porque es atribuido tanto a Charles Goodyear como a Hancock; se utilizó por primera vez en Springfield, Massachussets, en 1841. Desde esos primeros días, se ha tenido un progreso continuo hacia la mejora del proceso y en los artículos de caucho vulcanizado resultantes. Además del caucho natural, a lo largo de los años se han introducido muchos cauchos sintéticos, de igual forma, otros agentes de curado además del azufre, que es ampliamente usado en el proceso de reticulación del NBR [35].

Se puede decir entonces, que la vulcanización es un proceso de producción química de uniones de red mediante la inserción de enlaces cruzados entre cadenas de polímero, como se esquematiza en la **Fig. 6**. Este cambio en la estructura aumenta la fuerza retráctil y reduce la cantidad de deformación permanente que queda después de eliminar la fuerza deformante, esto quiere decir que, aumenta la elasticidad mientras disminuye la plasticidad [35].

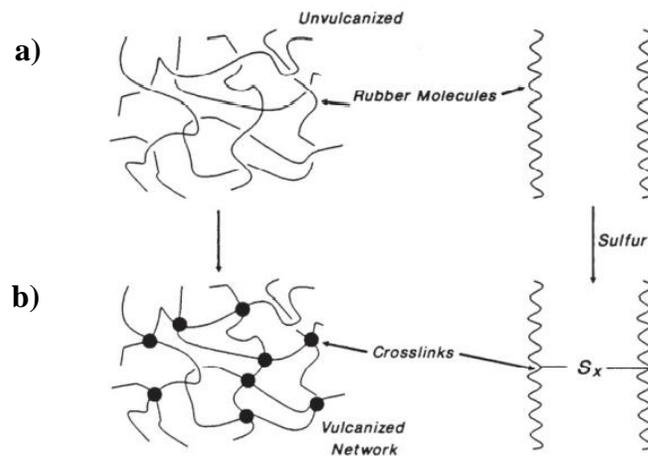


Fig. 6. Formación de redes. **a)** Caucho sin vulcanizar. **b)** Caucho después del proceso de vulcanización [18].

Los agentes de curado generalmente utilizados en la industria del caucho son los peróxidos y el azufre, siendo este último el de más amplia aplicación y el usado en las formulaciones de Darrow, por eso en este documento, se hace énfasis en la vulcanización con azufre. Dependiendo del agente, la reticulación puede ser un grupo de átomos de azufre en una cadena corta, un solo átomo de azufre, un enlace carbono-carbono, un radical orgánico polivalente, un grupo iónico o un ion

metálico polivalente. El proceso se realiza habitualmente calentando el caucho con agentes vulcanizantes, en un molde a presión [35], como se explicará en el numeral 4.4.2.

4.4.1 Generalidades de la vulcanización con azufre

Durante el proceso de vulcanización, el compuesto de caucho se calienta hasta una temperatura en la que la reacción irreversible entre las cadenas moleculares del caucho y el azufre comienzan a formar enlaces cruzados que conducen a una estructura tridimensional elástica [27]. La **Fig. 7**, muestra la representación esquemática de la vulcanización con azufre [13].

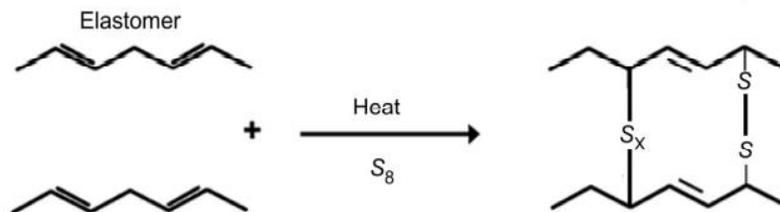


Fig. 7. Representación esquemática de la vulcanización con azufre [13].

Dos formas alotrópicas de azufre utilizadas son la forma rómbica y la forma amorfa. El azufre rómbico, se presenta como un anillo S₈ (soluble en disulfuro de carbono y caucho), mientras que, el azufre amorfo también conocido como azufre insoluble, se comporta al contrario ya que a una temperatura de 110 °C, el azufre insoluble se convierte en forma rómbica [13]. Por ser la vulcanización una reacción muy compleja, para la ruptura del anillo S₈, se deben involucrar activadores y, además, acelerantes para la formación de intermedios de azufre, que facilitan la reticulación al doble enlace [36].

En general, la técnica más utilizada en el curado de diversas aplicaciones industriales es el método de curado acelerado con azufre, ya que, sin aceleradores dura varias horas y no tiene importancia comercial. Este método proporciona mejores propiedades físicas, velocidad de reticulación considerablemente rápida y tiene la capacidad de proporcionar las acciones retardadas necesarias para el procesamiento, la conformación y el moldeado antes de la formación de la red vulcanizada de caucho. Según el nivel de azufre y la proporción entre el acelerante y el azufre, los sistemas de vulcanización con azufre se clasifican en convencionales, semieicientes (semi-EV) y eficientes (EV) [36], como lo muestra la **TABLA II**.

TABLA II. DIFERENTES TIPOS DE SISTEMA DE VULCANIZACIÓN CON AZUFRE [13].

	Vulcanización Convencional (CV)	Vulcanización Eficiente (EV)	Vulcanización Semi-Eficiente (SEV)
AZUFRE	1.5 – 3 phr	0 – 0.5 phr	1.2 – 1.5 phr
ACELERANTES	0.5 – 2 phr	2 – 6 phr	1.2 – 1.5 phr
TIPOS DE ENLACE FORMADOS	Polisulfídico	Monosulfídico	Disulfídico
PROPIEDADES A MEJORAR	Buenas propiedades de tracción	Excelente estabilidad térmica	Estabilidad térmica moderada y propiedades de tracción

4.5 Proceso de vulcanización de moldeo por compresión

4.5.1 Introducción al proceso de vulcanización de moldeo por compresión

El moldeo por compresión es una de las técnicas más antiguas de procesamiento de materiales. El proceso básico consiste en calentar un material polimérico que, para efectos de este estudio, es un elastómero; bajo una fuerte presión, dentro de una cavidad de molde cerrada hasta que el material se cura mediante una reacción química que forma cadenas poliméricas reticuladas. Bajo la presión aplicada, el material fluye, tomando la forma de la cavidad del molde y luego se endurece en la pieza o producto deseado. Cuando se logra que la pieza alcance una rigidez mínima que evite que se deteriore, es retirada, y el ciclo se completa, aunque la reacción de curado continúa mientras se enfría a las condiciones ambientales [37].

4.5.2 Descripción del equipo

Un dispositivo de moldeo por compresión es fundamentalmente una prensa con calor, de ahí que también se conozca como prensa calentada. En la **Fig. 8** se encuentra una vista esquemática de la máquina básica. El aparato es compacto pero pesado y a menudo tiene su propia estructura de soporte, o puede colocarse sobre una mesa o plataforma resistente. De manera general, en estos equipos, la placa base de metal resistente de la prensa (*base plate*) soporta una platina inferior (*lower heated platen*) y cuatro barras de guía (*guide rods*), que permiten el movimiento ascendente

y descendente del sistema hidráulico. La placa inferior (*lower heated platen*) se calienta de varias maneras; las más comunes son los calentadores eléctricos de cartucho, el aceite caliente o el vapor. Los calentadores eléctricos se controlan fácilmente en el rango de moldeo común de 300-400 °F (150 - 200 °C), pero el aceite caliente es el modo preferido cuando se requieren temperaturas más altas. Esta platina además de proporcionar una plataforma para cualquier molde, calienta directamente la mitad inferior de este. Encima de la platina inferior se encuentra la platina superior (*upper heated platen*), calentada de forma similar para transferir energía térmica a la superficie superior de la mitad superior del molde. También se observa en la figura, la unidad hidráulica (*hydraulic unit*), que consiste básicamente en un pistón de accionamiento hidráulico [37].

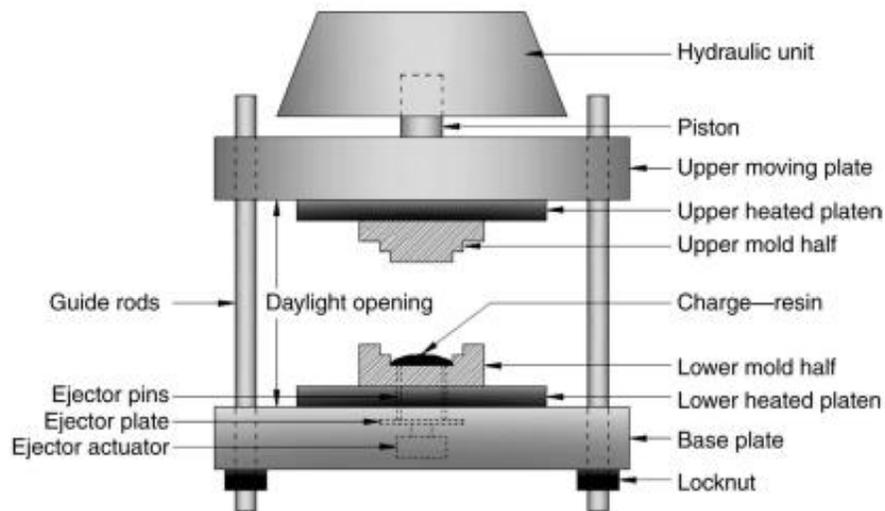


Fig. 8. Vista esquemática de los componentes principales de una prensa de compresión típica [19].

4.5.3 Funcionamiento y esquema del proceso

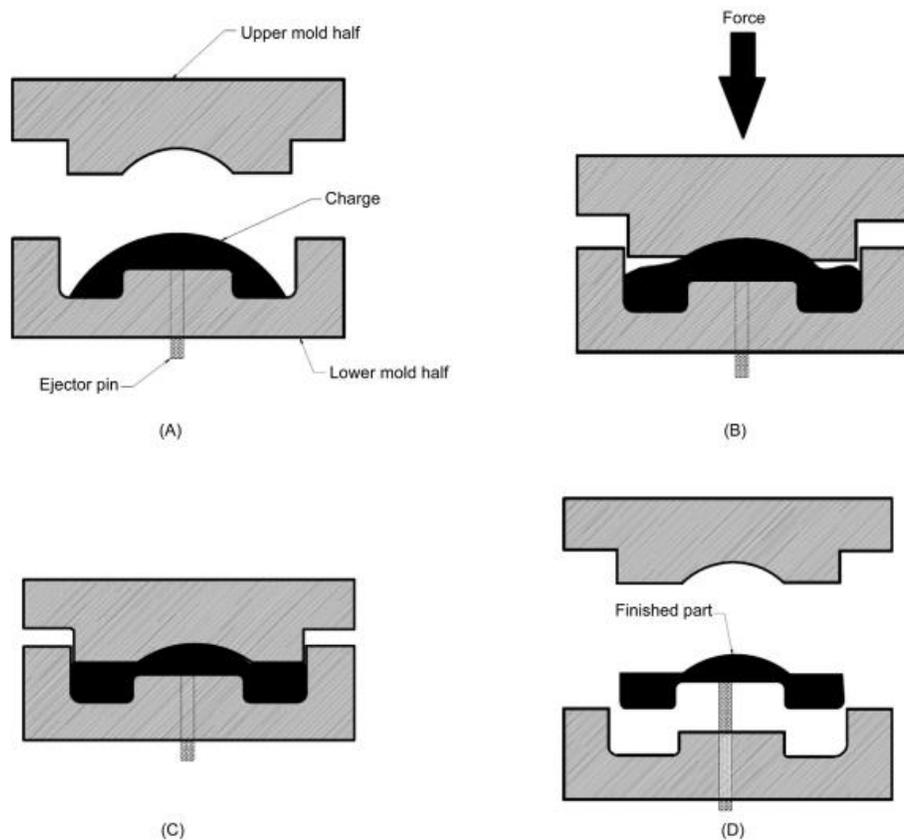


Fig. 9. El proceso de moldeo por compresión se describe mediante un procedimiento simplificado de cuatro pasos. **(a)** Carga del elastómero en el molde. **(b)** Compactación de la carga en el molde calentado. **(c)** Curado de la pieza dentro de la cavidad del molde. **(d)** Retirada de la pieza solidificada [37].

La ejecución de un ciclo de moldeo por compresión es bastante sencilla. El esquema que se presenta en la **Fig. 9** divide el proceso en cuatro etapas distintas. En primer lugar, el elastómero sin reaccionar se vierte, o se coloca, en la mitad inferior del molde (**Fig. 9 - a**). A continuación, se aplica una fuerza para compactar la carga, durante la cual se calientan ambas mitades del molde. La carga presurizada también atrae el calor, y una reacción química (en el caso de un polímero termoestable) comienza a endurecer la pieza (**Fig. 9 - b**). En la tercera etapa, la pieza sigue curándose mientras se mantienen la presión y la temperatura (**Fig. 9 - c**). Finalmente, la última etapa muestra la liberación de la pieza, con la ayuda de un perno inyector, de la mitad inferior del molde a medida que éste se abre (**Fig. 9 - d**). Esta secuencia se aplica a todo el moldeo por compresión, aunque hay una gran variedad de características de carga, diseño de la cavidad del molde y parámetros de moldeo. En comparación con otras técnicas de procesamiento de plásticos,

hay menos automatización y el costo de la prensa, de las herramientas y el tiempo del ciclo tienden a ser moderados. Sus características y capacidades únicas garantizan que este modo de procesamiento de plásticos seguirá teniendo éxito y demanda [37].

El proceso de moldeo por compresión en Darrow varía desde completamente manual hasta un cierto grado de automatización, donde el material a vulcanizar es cargado por el operario, de igual forma que el producto final es retirado por el mismo. Las **Fig. 10** y **Fig. 11**, muestran las vulcanizadoras automáticas y de presión hidráulica del sector cauchos de la planta de producción.

4.5.4 El molde

Los moldes como los de las **Fig. 10 - b)** y **Fig. 11 - b)**, deben soportar grandes fuerzas de cizalla y compresión. Los materiales comunes para estos moldes son aceros inoxidable y para herramientas como el acero para moldes AISI P20. Los moldes de acero pueden estar cromados para prolongar la vida útil, mejorar el desgaste y la dureza de la superficie. El acero para herramientas AISI H13, también es deseable porque tiene una buena dureza a temperatura elevada, resistencia al desgaste y resistencia al impacto. Un detalle muy importante, es que el pulido de las superficies de la cavidad interior del molde garantiza la calidad de la pieza; debido a las altas fuerzas de compresión, cualquier imperfección de la cavidad se reflejará en esta. Los moldes se fabrican mediante tallado, electroerosión (EDM) o mecanizado.

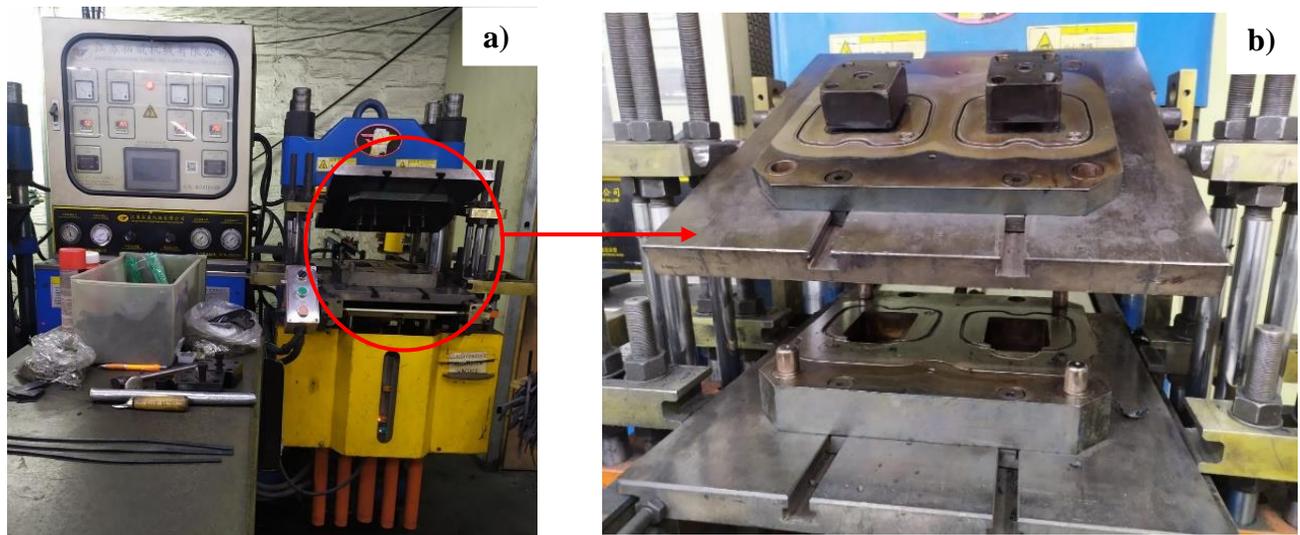


Fig. 10. a) Vulcanizadora automática de Darrow, Soluciones Para Tu Moto. b) Molde [Elaboración Propia].

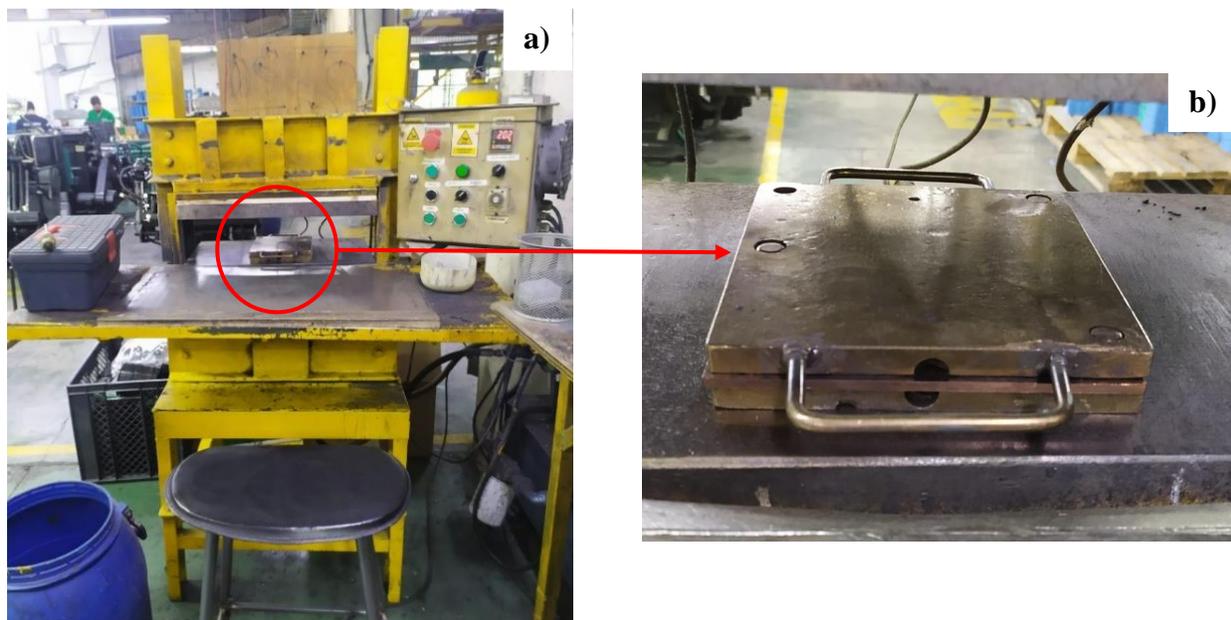


Fig. 11. a) Vulcanizadora de presión hidráulica de Darrow, Soluciones Para Tu Moto. b) Molde. [Elaboración propia].

4.5.5 Parámetros de procesamiento

Al igual que con otras técnicas de procesamiento de polímeros, existen varios parámetros importantes que requieren un control estricto. En el caso de procesamiento mediante moldeo por

compresión los puntos a estudiar son el control de la carga de material, control de la fuerza de cierre, la temperatura del molde y el tiempo de ciclo.

- **Control de la carga de material:** El moldeo por compresión depende de la carga (cantidad de material que se requiere poner en el molde de la vulcanizadora para obtener un producto final), por lo que la sobrecarga evita que las mitades del molde se asienten correctamente y crea una rebaba adicional. Para un rendimiento físico y mecánico óptimo, cualquier preforma o gránulos de resina deben distribuirse para que coincidan con la forma de la pieza; esto promueve una densidad de curado uniforme, lo que produce la máxima tenacidad y resistencia a la compresión. Por tanto, una preforma circular no sería apropiada para una cavidad rectangular. La eliminación de la rebaba supone un costo adicional, y con materiales más duros, puede ser difícil de eliminar. Si, por el contrario, la masa cargada es deficiente, la pieza estará dimensionalmente incompleta y, además, puede ocurrir, que el producto final tenga vacíos de gases que se desarrollaron y quedaron atrapados donde no había suficiente material disponible para desplazar el gas a medida que se presurizaba el molde [37].
- **Control de la fuerza de cierre:** La aplicación de la fuerza de cierre del molde debe ser suave y uniforme. Si es demasiado rápida, el material se cortará, sobrecalentando las cadenas moleculares. Por otro lado, si la presión de moldeo aumenta a una tasa inferior a la idónea, el material curará y endurecerá antes de que se produzca la máxima compactación [37].
- **Temperatura del molde:** Aunque los polímeros termoestables toleran un rango de temperaturas, el calor excesivo degrada el material dando como resultado fragilidad, resistencia mecánica reducida y mala calidad de la superficie de la pieza. La viscosidad está fuertemente relacionada con la temperatura y es fuertemente dependiente de ella, por lo tanto, si la temperatura del molde es demasiado baja, la viscosidad aumenta y es posible que el material no fluya lo suficiente y como resultado no se tenga una definición óptima de la pieza. La temperatura de procesamiento depende de factores como el material, su presentación, viscosidad, aditivos, presión de moldeo, espesor y complejidad del diseño de la pieza, aunque se determina mejor mediante la experiencia y las pruebas. El

precalentamiento de la carga antes de la inserción en la cavidad del molde puede conducir a una mejor calidad de la pieza y un tiempo de ciclo más corto [37].

- **Tiempo de ciclo:** Para la eficiencia económica, el tiempo total del ciclo debe ser minimizado. Se debe tener en cuenta, que el tiempo de moldeo es el tiempo a plena presión y no incluye otros pasos como la carga, el cierre del molde, la desgasificación y la expulsión de la pieza, que contribuyen al tiempo total del ciclo. El tiempo de moldeo por compresión debe ser adecuado para el curado completo, mantener el material demasiado tiempo a temperatura y presión de compresión degradará el material. Claramente, el grosor de la pieza es un factor crucial, ya que una pieza delgada se endurecerá en segundos, mientras que una relativamente gruesa requiere muchos minutos. Los tiempos de compresión (curado) recomendados son de 0,5 a 5 min, con 1½ min a 340 °F (171 °C) como típico. Aunque la pieza se puede quitar del molde una vez que se alcanza la rigidez mínima (rigidez en caliente), la reacción de polimerización continúa y puede requerir horas para el curado completo. Por lo tanto, existe la posibilidad de que la pieza se deforme si no tiene soporte después de sacarla de su molde. El aumento de la temperatura de moldeo al menos 9 °F (5 °C) y/o el tiempo de compresión de 5 a 10 segundos acelerará el entrecruzamiento de la cadena molecular y reducirá la deformación [37].

4.6 Sistema de gestión de la calidad

Dentro de los parámetros de calidad que se implementan en los compuestos de caucho nitrilo fabricados en Darrow, se encuentran los ensayos de reometría de vulcanización y dureza, para esto se recopilan muestras de cada uno de los lotes de los compuestos fabricados, con el objetivo de realizar un monitoreo que garantice la consistencia de los parámetros de proceso y las propiedades del producto final. Además de esto, los empaques son medidos en las tapas de culatín y tazas carburador respectivas, como se ilustra en la **Fig. 12**. Hacen parte también de este sistema las hojas de proceso y control como herramientas para la estandarización.

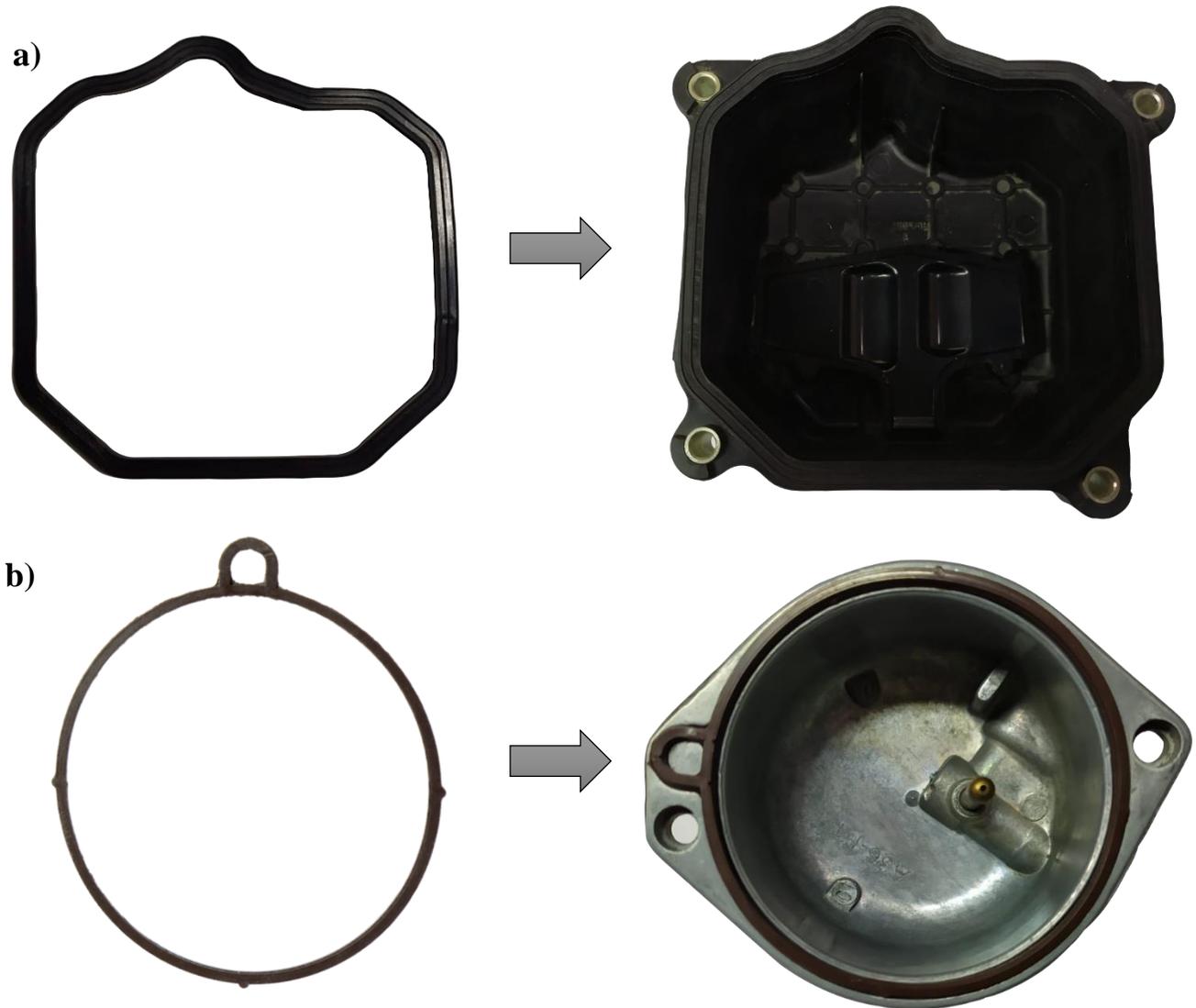


Fig. 12. a) Culatín medido en tapa culatín y b) Tacita medida en taza carburador [Elaboración propia].

4.6.1 Ensayo de reometría de vulcanización

Antes de hablar de reometría, hay que conocer un concepto importante que es el de reología, la cual se define como la ciencia que se dedica al estudio del flujo y la deformación de los materiales bajo fuerzas o presiones aplicadas. Para medir los parámetros asociados al comportamiento reológico se utilizan técnicas reométricas que permiten decidir las condiciones óptimas de procesamiento, hacer control de calidad a materias primas, mezclas propias y productos, hacer una referenciación de materiales propios con materiales de interés, evaluar mejoras o cambios al

material o al proceso y tomar decisiones de compras de materias primas y equipos [22]. Para realizar estos ensayos, se usan reómetros de vulcanización, que son dispositivos de laboratorio diseñados para medir las propiedades viscoelásticas de los compuestos de caucho durante este proceso. Existen dos tipos de reómetros en la industria del caucho, aunque tienen el mismo propósito y la misma función, reciben el nombre de ODR (Oscillating Disc Rheometer) y MDR (Moving Die Rheometer) [23], este último es el equipo con el que cuenta Darrow en el laboratorio de calidad (**Fig. 13**).



Fig. 13. Reómetro de vulcanización, MDR, del laboratorio de calidad de Darrow, Soluciones para tu moto
[Elaboración propia].

El ensayo se realiza insertando un trozo de compuesto de caucho sin vulcanizar en la cavidad del reómetro [23], entre dos placas calentadas donde la inferior oscila sinusoidalmente [24]. La muestra se expone a una presión a cierta temperatura constante, que depende del tipo de compuesto y del método de reticulación (vulcanización). El reómetro MDR mide así un grado de vulcanización en función del tiempo a una temperatura dada y arroja a su vez una curva de vulcanización, curva de curado o curva reométrica, que es un gráfico donde se ve representado el par en el rotor en función del tiempo [23]. El equipo se encuentra bajo la norma ASTM D5289. En la **Fig. 14**, se muestra una curva típica de curado lograda con el reómetro.

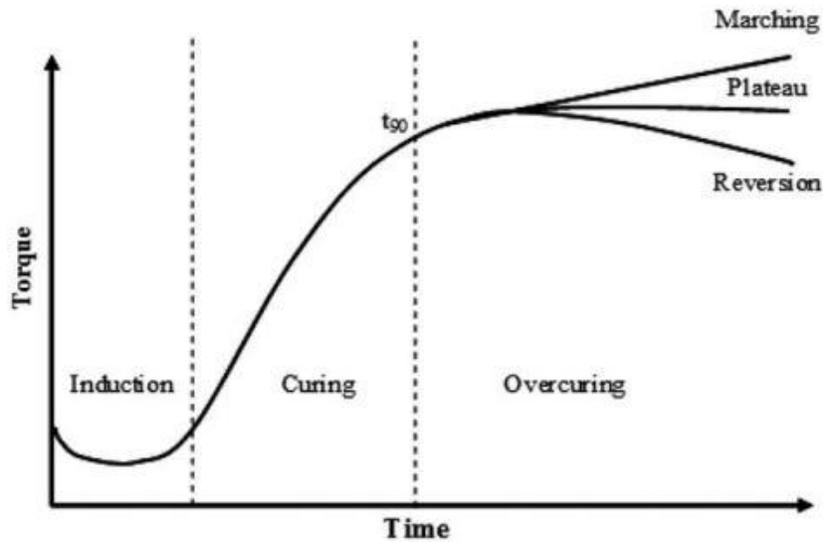


Fig. 14. Esquema de una curva típica de curado de una formulación de caucho obtenida con un reómetro [27].

En esta **Fig. 14**, se especifican tres regiones principales:

1. **Inducción (*Induction*):** en esta zona, la muestra de caucho se coloca en la cavidad calentada del reómetro y su módulo de cizalla disminuye debido al ablandamiento del compuesto; sin embargo, los enlaces cruzados aún no se han formado [24]. Se caracteriza por una reacción química lenta entre el caucho y los aditivos. Además, permite un procesamiento seguro y un buen flujo del compuesto de caucho dentro de la cavidad del molde [27].
2. **Curado (*Curing*):** A continuación, la etapa de curado, donde se produce la reticulación dentro del compuesto de caucho. Como resultado de la formación de redes reticuladas tridimensionales, se mejora la elasticidad y la resistencia a la tracción, lo que da como resultado una tendencia creciente de la curva de torsión [24].
3. **Poscurado (*Overcuring*):** Aquí, el torque aumenta, disminuye o se mantiene constante dependiendo del sistema de curado específico. Dado que el paso de poscurado suele tener un efecto no deseado en la calidad y las propiedades físicas del producto final, se hace necesario optimizar el proceso de curado para asegurar la producción de productos finales que tengan un rendimiento óptimo con un costo competitivo [24].

La **Fig. 15**, muestra la curva reométrica obtenida para el compuesto de caucho usado como materia prima en Darrow. Esta curva se obtuvo usando el reómetro MDR de la empresa.

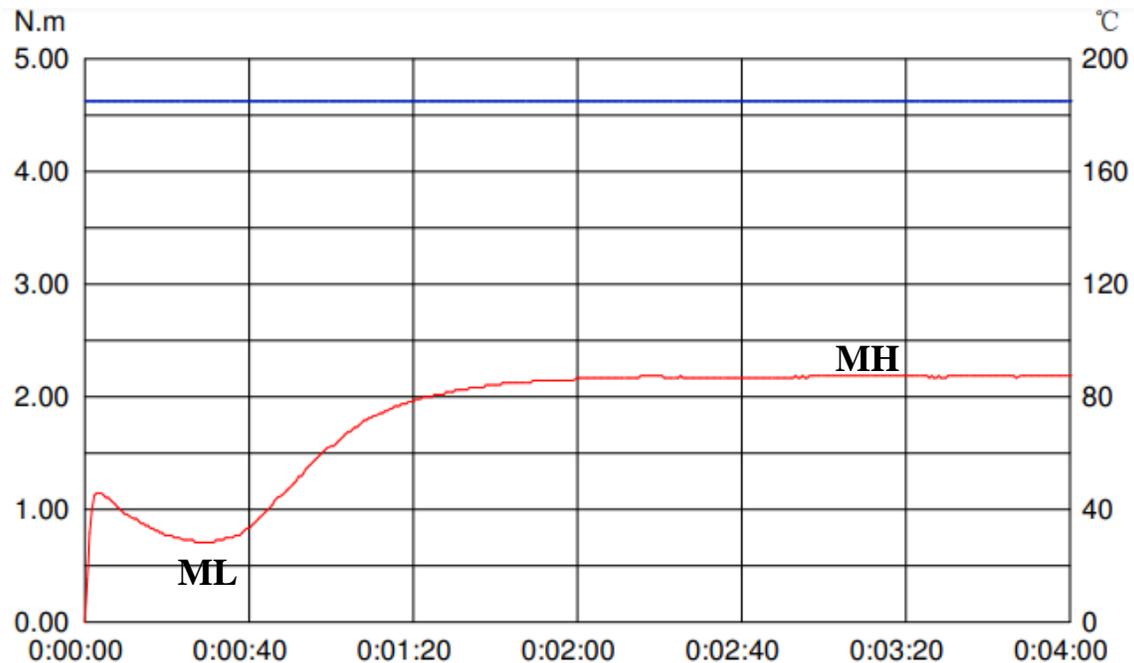


Fig. 15. Curva reométrica de compuesto de caucho (materia prima de Darrow) obtenida a 185 °C en el reómetro MDR del laboratorio de calidad de la empresa [Elaboración propia].

4.6.1.1 Interpretación de la curva de vulcanización

La curva de curado muestra los siguientes resultados arrojados de manera automática por el equipo a través de un software que lo controla.

Valores de Torque

- **ML:** A medida que el compuesto se calienta, su viscosidad disminuye, lo que se refleja en un menor torque requerido para deformar la muestra. El valor más bajo de la curva de torque, expresado en N.m, es el que se conoce como momento mínimo o ML, del inglés *Moment Lowest* (**Fig. 15**). Es una medida de la rigidez de un compuesto de caucho no vulcanizado a la temperatura de ensayo [23].
- **MH:** Como se observa en la **Fig. 15**, la pendiente de la torsión creciente varía y depende del tipo de reticulación empleado. Después de un tiempo la curva alcanza una meseta,

denominada *plateau* en inglés, (**Fig. 14**) y el valor más alto de la curva de torque se llama momento máximo o MH por la sigla de *Moment Highest* [23]. Si la prueba continúa durante un tiempo suficiente, se produce la reversión del curado y el par tiende a disminuir. Este tipo de curva se denomina curva de reversión [25] que se muestra en la **Fig. 14**, o por el contrario pueden ocurrir reticulaciones adicionales inducidas por la reacción de un agente de vulcanización muy reactivo, y entonces se obtiene la curva nombrada como *marching* que también se muestra en la **Fig. 14** [27].

Valores de tiempo

- **TS2 – tiempo de scorch:** Es el tiempo desde el inicio de la prueba hasta el momento en que el valor de par aumenta 2 N.m por encima del valor de ML. Se mide en unidades de tiempo e indica el inicio de la vulcanización a una temperatura particular y, por lo tanto, representa el tiempo disponible para el procesamiento [26].
- **T90:** Es el tiempo de curado óptimo. Se define como el tiempo requerido para que el torque alcance el 90% del torque máximo alcanzable y se relaciona con el tiempo necesario para que el caucho curado alcance propiedades óptimas [27].

4.6.2 Ensayo de dureza

La dureza es una prueba sencilla, económica y rápida que se utiliza en toda la industria del caucho. El ensayo se realiza bajo la norma ASTM D2240 y se basa en la resistencia del caucho curado a la deformación cuando se aplica una fuerza a un indentador rígido. El resultado es una medida del módulo elástico de un compuesto de caucho bajo una deformación muy limitada [28]. Este método de prueba describe ocho tipos de dispositivos de medición de la dureza del caucho conocidos como durómetros: tipos A, B, C, D, DO, O, OO y M. Las escalas de dureza Shore A y Shore D son las más comunes, la escala A se usa para materiales más blandos, como el caucho, y la escala D para materiales más duros [29]. La siguiente imagen, **Fig. 16**, muestra ejemplos de diferentes materiales y en qué categoría de dureza Shore se encuentran. Es posible que un mismo material se pueda medir usando varios métodos [33].

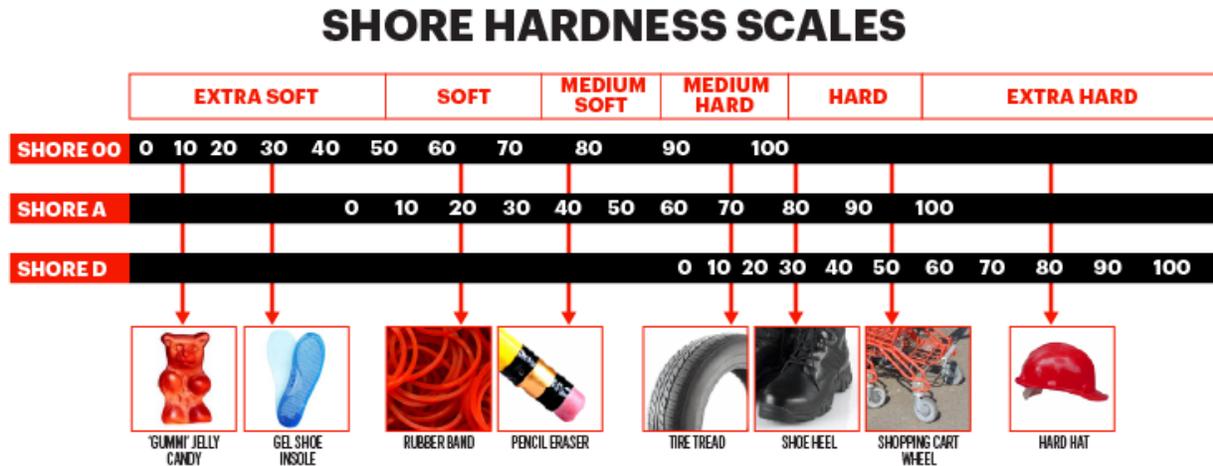


Fig. 16. Escalas de dureza Shore [33]

Una vez realizada la indentación esta se convierte en grados de dureza en una escala que va de 0 a 100, de manera que cero representa un caucho que tiene un módulo elástico de cero y 100 representa un caucho que tiene un módulo elástico infinito [31]. El tipo de indentador del durómetro y la carga aplicada están determinados por la escala de dureza del equipo, esto se puede ver claramente en la Fig. 17 - b). Debido al comportamiento viscoelástico del caucho, la lectura puede cambiar con el tiempo, por lo que este a veces se informa junto con el número de dureza [30]. La Fig. 17 - a), muestra un durómetro Shore A similar al empleado en el laboratorio de calidad de Darrow.

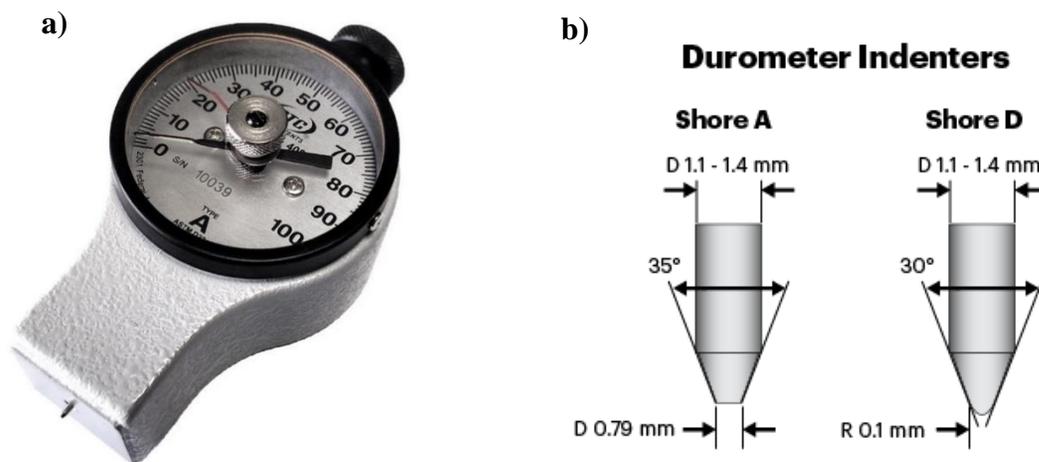


Fig. 17. a) Durómetro Shore A similar al de Darrow [32] y b) Tipos de indentador [30]

4.6.2.1 Importancia de esta propiedad

La dureza del material es una propiedad importante que ayuda a determinar la idoneidad de un producto de caucho para el uso previsto. Además, la aplicación de un componente es fundamental para determinar la dureza necesaria. Por ejemplo, los compuestos más blandos que ofrecen menos resistencia están bien para sellos de baja presión donde el material debe adaptarse a superficies ásperas o irregulares. Los materiales más duros serían más apropiados para los sellos de alta presión [33].

4.7 Proceso de estandarización

Los procesos de estandarización son vitales, porque ayudan a que bajo las mismas condiciones de proceso se generen siempre resultados dentro de un intervalo esperado. Su objetivo es elevar la eficiencia eliminando todas las actividades innecesarias buscando la secuencia más lógica, para mantener las tareas lo más sencillas posible. Además, suministran una base para el mantenimiento y mejoramiento de la forma de hacer un trabajo, facilitan una base para el entrenamiento, diagnóstico y auditoría, minimizan la variación [34]. Entonces, una vez acordado el mejor método para hacer algo, se documenta. En este trabajo, se emplearán las hojas de proceso y control como herramientas para hacer este registro.

4.7.1 Hojas de proceso y control

Es un formato también llamado hoja de operación estándar, en inglés se conocen como *route sheets* o *process routing sheets*, el cual desarrolla claramente las operaciones que deben ser realizadas, determina el orden de los pasos principales, permite registrar tiempos de ejecución y los recursos a utilizar en cada operación. A la hora de construirlos se requiere preferiblemente que sean básicos, gráficos y sencillos, y es muy importante que permanezcan actualizados [34]. Deben encontrarse al alcance del operario para ser consultadas en el momento que se requiera.

5. METODOLOGÍA

5.1 Creación de un estándar para la formulación del compuesto de caucho color negro, fabricado en Darrow, Soluciones Para Tu Moto

De manera rutinaria en Darrow se realiza un muestreo por lotes de los compuestos de caucho fabricados, con el objetivo de realizar ensayos de reometría y dureza como parte del sistema de gestión de la calidad en la empresa. Principalmente, los ensayos de reometría realizados permiten asegurar que el comportamiento de los lotes evaluados a diario sea igual o similar, más no permiten conocer su comportamiento durante un periodo de almacenamiento.

Por recomendación de un experto en el tema que asegura que esta información es imprescindible para cualquier empresa que utilice como materia prima caucho, se realizó un estudio para conocer el comportamiento del compuesto en el tiempo y en condiciones adecuadas de almacenamiento. El ensayo se llevó a cabo durante doce días, registrando variables como el espesor medido con un calibrador de la marca SATA – Stainless Hardened, temperatura de la muestra tomada con un termómetro infrarrojo, dureza medida con un durómetro shore A de la marca PTC Instruments – Modelo 408 y bajo la norma ASTM D2240, el parámetro T90 y las observaciones más importantes que permitieran llevar a detalle el proceso.

La metodología empleada para llevar a cabo este estudio se detalla a continuación:

Etapa 1. Planeación del ensayo: Se acordó con la asesora de proyecto tomar una muestra de aproximadamente dos kilogramos de un lote virgen convencional del compuesto de caucho que no fuera una remolienda de proceso; este material fue almacenado en una nevera que se encuentra a disposición en el sector cauchos de la empresa. El equipo se reguló a una temperatura tal que permitiera solo refrigerar, es decir que, la perilla de control de temperatura se graduó de tal manera que se alcanzara un rango de temperatura estimado entre los 3 °C y los 5 °C. Para los ensayos de reometría, se usó un reómetro SG-S05A Moving Die Rheometer de la marca Jinge Testing Machine., LTD, que opera bajo la norma ASTM D5289. Para realizar el ensayo se tomaron muestras de 6 gramos, y los parámetros del equipo fueron:

- **Duración del ensayo:** 4 minutos.
- **Temperatura:** 185 °C
- **Torque máximo:** 5 N.m

Etapla 2. Realización del ensayo y toma de datos: Se llevó a cabo el ensayo de la siguiente manera:

- **Reometrías:** Se planeó realizar reometría al compuesto recién hecho, inmediatamente sacado de la nevera en días aleatorios y que se había dejado reposar entre aproximadamente 7 u 8 horas, esto con el objetivo de verificar la variación del parámetro T90 en el tiempo. El ensayo se realizó con base en los tiempos reales que maneja el proceso dentro de la empresa.
- **Dureza:** Se fabricaron probetas de material vulcanizado para medir dureza con durómetro Shore A. Esta propiedad es medida al día siguiente de la fabricación de la probeta.

Todos estos datos son registrados día a día para tener una secuencia de las pruebas, al igual que el espesor y temperatura de la muestra.

Etapla 3. Análisis de los resultados y conclusiones: En una gráfica se recopilaron todos los ensayos de reometría realizados, se analizan los resultados obtenidos y registrados, para finalmente llegar a las conclusiones pertinentes, que serán expuestas en el numeral 6.1 de este trabajo.

5.2 Elaboración e implementación de hojas de proceso y control para la estandarización de las variables operacionales empleadas en la fabricación de culatines y tazas de carburador

En el diagrama de la **Fig. 18**, se muestra la metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto.

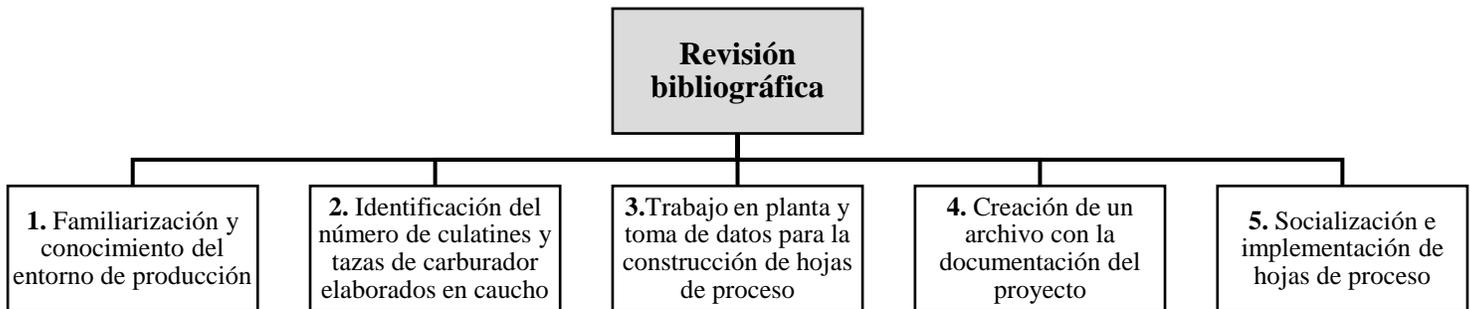


Fig. 18. Metodología utilizada en el desarrollo del proyecto [Elaboración propia].

5.2.1 Revisión bibliográfica

Durante todo el proyecto se utilizó como fuente de conocimiento conceptual la revisión o búsqueda bibliográfica de los temas relacionados con el trabajo, con el fin de tener clara la terminología necesaria para llevar a cabo los procedimientos realizados tanto en el laboratorio de calidad de Darrow, como en la planta de producción, de esta manera se obtuvo también una posible explicación de los resultados obtenidos y se abrió paso a la resolución de inquietudes de forma pertinente.

5.2.2 Familiarización y conocimiento del entorno de producción

Una de las etapas principales de este proyecto fue la familiarización del entorno de producción incluyendo a las personas que hacen parte de este como colaboradores del trabajo a realizar. El estudio del entorno, permitió entrar en contexto con la problemática que se pretendía resolver, lo que permitió que se diera una apropiación paulatina con el entorno de trabajo, proceso y funcionamiento de los equipos empleados.

5.2.3 Identificación del número de culatines y tazas de carburador elaborados en caucho

Para identificar el número de culatines y tazas de carburador elaborados en caucho con los códigos 17H y 12C, respectivamente, el área de planeación de demanda facilitó un inventario detallado de las referencias disponibles en el almacén de la empresa con el fin de filtrar las referencias objeto de estudio. Este punto fue de especial cuidado porque referencias designadas con estos códigos son

fabricadas en otro tipo de material, por eso la importancia de realizar la identificación. La empresa además hace una clasificación según la cantidad producida en Tipo A, Tipo B y Tipo C, siendo Tipo A, las de mayor producción y Tipo C, las de menor.

5.2.4 Trabajo en planta y toma de datos para la construcción de hojas de proceso

5.2.4.1 Observación del empaque terminado

Es muy importante conocer el empaque que se está fabricando, especialmente, cuando se trata de culatines. Estas referencias para su producción necesitan compuestos de caucho de hasta dos espesores diferentes, y además de eso uno o más insertos metálicos, como los que se muestran en la **Fig. 19 - b**. Posteriormente, se pesa el empaque terminado y el inserto metálico si es el caso, para conocer la cantidad de material que se requiere para obtener un solo empaque.

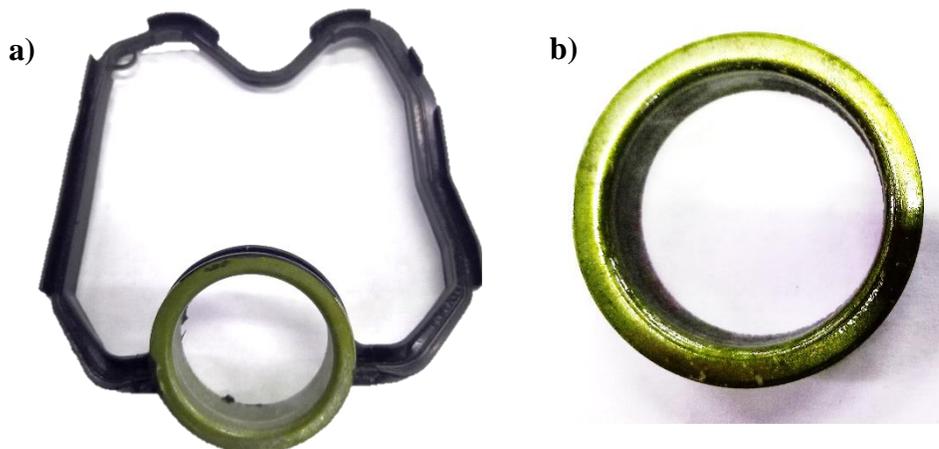


Fig. 19. Culatín para la motocicleta N-MAX 155 de Yamaha. **a)** Empaque terminado fabricado en Darrow **b)** Detalle del inserto metálico utilizado [Elaboración propia].

5.2.4.2 Observación del proceso

Se realiza una verificación del proceso tal y como se esté realizando en el momento, se observan aspectos como la calidad del empaque y la cantidad de rebaba obtenida después de la vulcanización. Se toman los datos de las dimensiones empleadas y el peso del material utilizado con el objetivo de comparar en caso de que se optimice el proceso. Este último dato se emplea para el cálculo del % de rebaba de la siguiente manera:

$$\% \text{ de rebaba} = \frac{(\text{peso con rebaba} - \text{peso sin rebaba})}{\text{peso con rebaba}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- **Peso con rebaba:** Hace referencia al peso del material que se va a cargar en el molde.
- **Peso sin rebaba:** Es el peso del empaque terminado. En caso de tener inserto(s) metálico(s), se resta el peso de este, ya que solo interesa conocer la cantidad de compuesto de caucho consumido en gramos.

Se recopilan los datos necesarios para llenar el formato de la hoja de proceso. Si el porcentaje de rebaba obtenido no es alto, se está usando la mínima cantidad de material para obtener un producto conforme, la calidad es la deseada y los parámetros de proceso son los adecuados (tiempo de vulcanización, tiempo total, temperatura de vulcanización, temperatura del molde, desfuegos y presión). De lo contrario, se procede a hacer cambios de la siguiente manera:

1. Se varían las dimensiones y la geometría de la(s) parte (s) que componen un empaque, se pesan. Para todo esto, se tiene en cuenta el peso del empaque terminado y las medidas del molde.
2. Con ayuda del operario se realizan pruebas. Se examina nuevamente de forma visual las características de la rebaba y el porcentaje usando la ecuación 1, la facilidad con la que esta se puede eliminar y la calidad del empaque. Se realiza el número de pruebas que sea necesario hasta obtener la mínima cantidad de rebaba posible, asegurando siempre la calidad; todo mediante un trabajo colaborativo con los operarios. El peso es realmente la variable más importante a estandarizar, debido a que existen factores operacionales que hacen que se presenten variaciones en otros parámetros como son el espesor y dimensiones de la materia prima que se va a utilizar. Los relacionados a otros procesos (por ejemplo, troquelado de los insertos metálicos) cuentan con equipos menos especializados que son de manejo muy manual y de ensayo y error, por eso es difícil realizar un proceso de estandarización.
3. Una vez obtenidas las condiciones óptimas se registran en la hoja de proceso, y antes de ser impresa es revisada por la ingeniera de calidad a cargo y aprobada por el jefe del área de innovación y desarrollo de la empresa. Luego de esto, se pone a disposición de los operarios en planta para ser socializada.

5.2.5 Creación de un archivo con la documentación del proyecto

En un documento de Microsoft Excel® se creó el formato de la hoja de proceso. La información incluida en este depende de cómo este conformado el empaque, es decir, la información base es la misma para todos los formatos, pero dependiendo del empaque se realizan algunas modificaciones y se agrega información detallada. El avance del proyecto se registró semanalmente en este documento y se compartía a la asesora de proyecto para su revisión. Las hojas fueron construidas de acuerdo a la planeación en planta. La Fig. 20, muestra el formato base empleado.

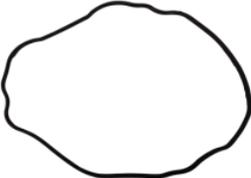
		HOJA DE PROCESO Y CONTROL						XXX					
NORMAS Y PROCEDIMIENTOS		Emisión N°:		Fecha efectividad:		Departamento: Ingeniería		Hoja 1 de 1					
Fabricante:		Material:											
Código:		Espesor nominal:											
Aplicación:		Área de fabricación:											
Denominación:		Clasificación:											
MATERIAS PRIMAS													
N°	MATERIAL	ESPESOR	CONSUMO / EMPAQUE		DIMENSIONES	CONSUMO MOLDE							
			UND.	(g/tira)		cm ³	g						
1													
OBSERVACIÓN:													
OBSERVACIÓN PARA EL MATERIAL A CARGAR EN EL MOLDE													
CAPACIDAD INSTALADA					PESO DE PRODUCTO TERMINADO (g)								
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y CONTROL													
PASO	DESCRIPCIÓN	MÁQUINA	HERRAMIENTA		PARÁMETROS MÁQUINA						CARACTERÍSTICAS DE CONTROL	OBSERVACIONES	
			TIPO	CÓDIGO	t_vulc. (min)	t_total (min)	T_vulc. (°C)	T_molde (°C)	Desfogues	Presión (kgf/cm ²)			
1													
2													
OBSERVACIÓN:													
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:		FECHA ELAB:		REV. N° 000					
						FECHA ACTU:							

Fig. 20. Formato base de una hoja de proceso [Elaboración propia].

5.2.6 Socialización e implementación de las hojas de proceso

Luego de que las hojas eran revisadas y aprobadas, se ponían a disposición en planta y se socializaban con los supervisores del área para ser implementadas y se resolvían dudas con respecto a su uso.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Creación de un estándar para la formulación del compuesto de caucho color negro fabricado en Darrow, Soluciones Para Tu Moto

6.1.1 Resultados del seguimiento de las pruebas

La **TABLA III**, muestra el seguimiento realizado durante este ensayo:

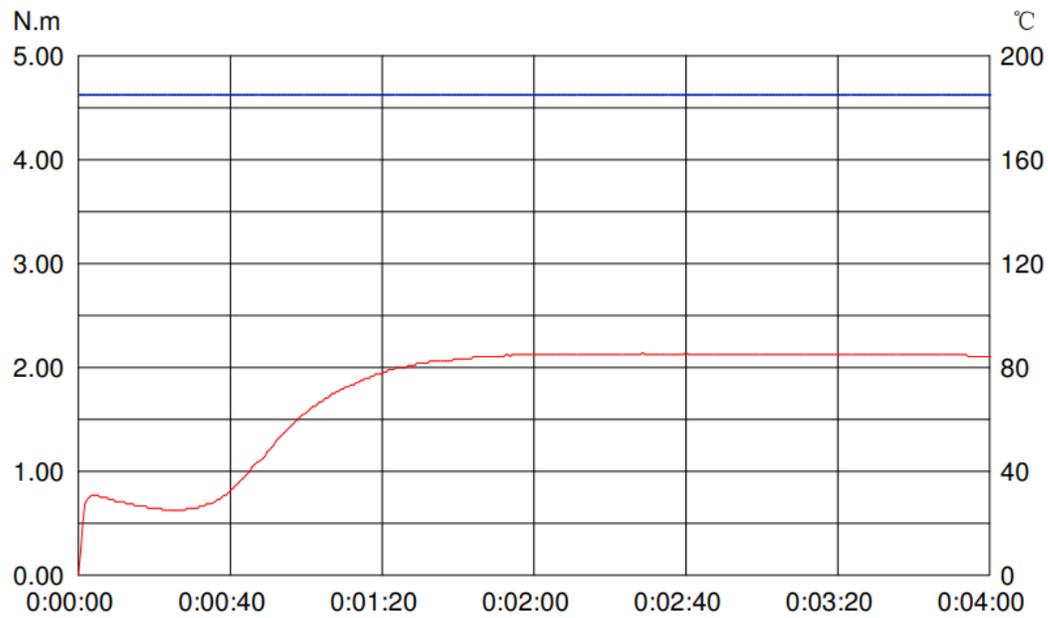
TABLA III. SEGUIMIENTO REALIZADO PARA CREACIÓN DE ESTÁNDAR DEL COMPUESTO DE CAUCHO [Elaboración propia]

N° de prueba	Fecha	Espesor (mm)	Ref. de reometría	Temperatura muestra (°C)	Dureza (Shore A)	T90 (min)	Observaciones
1	25/03/2022	3,97 - 4,2	NG2503ES1	29,5	65-72	1:24	Compuesto de caucho fresco a temperatura ambiente
2	26/03/2022	4 - 4,3	NG2603ES2	26,1	72	1:28	Muestra tomada el 25 de marzo al mediodía y se deja a temperatura ambiente hasta el 26 de marzo a las 8:36 a.m. (20 horas aprox.)
3	26/03/2022	3,8 - 4,2	NG2603ES3	26,3	65-72	1:30	Muestra recién sacada de la nevera a las 9:00 a.m.
4	28/03/2022	3,5 - 3,8	NG2803ES4	24,9	65-70	1:29	Muestra tomada el 26 de marzo a las 9:00 a.m. y se deja a temperatura ambiente hasta el 28 de marzo a las 8:18 a.m. (48 horas aprox.)
5	28/03/2022	3,6 - 3,8	NG2803ES5	27,2	65	1:28	Muestra recién sacada de la nevera a las 8:00 a.m.
6	28/03/2022	3,7 - 3,9	NG2903ES6	28,4	65	1:26	Muestra tomada el 28 de marzo a las 8:00 a.m. Se realizó reometría a las 3:00 p.m. (7 horas)
7	29/03/2022	3,7 - 3,9	NG2903ES7	28,2	65-70	1:27	Muestra tomada el 29 de marzo a las 8:30 a.m. Se realizó reometría a las 3:15 p.m. (7 horas aprox.)
8	30/03/2022	3,6 - 4,0	NG3003ES8	26,8	65-70	1:28	Muestra tomada el 30 de marzo a las 8:30 a.m. Se realizó reometría a las 3:40 p.m. (7 horas aprox.)
9	31/03/2022	3,6 - 4,0	NG3103ES9	30,3	72	1:27	Muestra tomada a las 8:40 a.m. Se realizó reometría a las 4:00 p.m. (7 horas aprox.)

N° de prueba	Fecha	Espesor (mm)	Ref. de reometría	Temperatura muestra (°C)	Dureza (Shore A)	T90 (min)	Observaciones
10	1/04/2022	3,7 - 4,0	NG0104ES10	28,2	65	1:28	Muestra tomada a las 7:55 a.m. Se realizó reometría a las 2:00 p.m. (6 horas aprox.)
11	4/04/2022	3,8 - 4,0	NG0404ES11	28,7	65	1:27	Muestra tomada a las 8:26 a.m. Se realizó reometría a las 4:00 p.m. (8 horas aprox.)
12	5/04/2022	3,6 - 3,8	NG0508ES12	29,7	Probeta con aire	1:27	Muestra tomada a las 8:38 a.m. Se realizó reometría a las 3:55 p.m. (8 horas aprox.)
13	6/04/2022	3,5 - 3,8	NG0604ES13	30,4	70	1:25	Muestra tomada a las 8:57 a.m. Se realizó reometría a las 4:20 p.m. (8 horas aprox.)
14	7/04/2022	3,6 - 3,9	NG0704ES14	29,4	70	1:26	Muestra tomada a las 9:44 a.m. Se realizó reometría a las 3:54 p.m. (6 horas aprox.)
15	8/04/2022	3,6 - 3,9	NG0804ES15	26,3	70	1:28	Muestra recién sacada de la nevera a las 8:42 a.m.
16	8/04/2022	3,7 - 3,9	NG0804ES16	28,5	70	1:28	Muestra tomada a las 8:42 a.m. Se realizó reometría a las 2:50 p.m. (6 horas aprox.)

Las pruebas N° 13 y 14, no fueron tenidas en cuenta a la hora de hacer el análisis de los resultados porque se realizaron en condiciones distintas al resto de los ensayos.

En la **Fig. 21**, se presenta el gráfico de la curva de vulcanización para el compuesto de caucho fresco y a temperatura ambiente. En la tabla anterior se observa que el t90 obtenido es 1 minuto con 24 segundos.



RESULTS

	ML	MH	T10	T30	T50	T90	TS1	TS2	VC1	VC2
1	0.638	2.146	0:00:39	0:00:48	0:00:55	0:01:24	0:00:37	0:00:40	127.659	136.363
AVR	0.638	2.146	0:00:39	0:00:48	0:00:55	0:01:24	0:00:37	0:00:40	127.659	136.363

Fig. 21. Curva de vulcanización para el compuesto de caucho fresco y a temperatura ambiente [Elaboración propia].

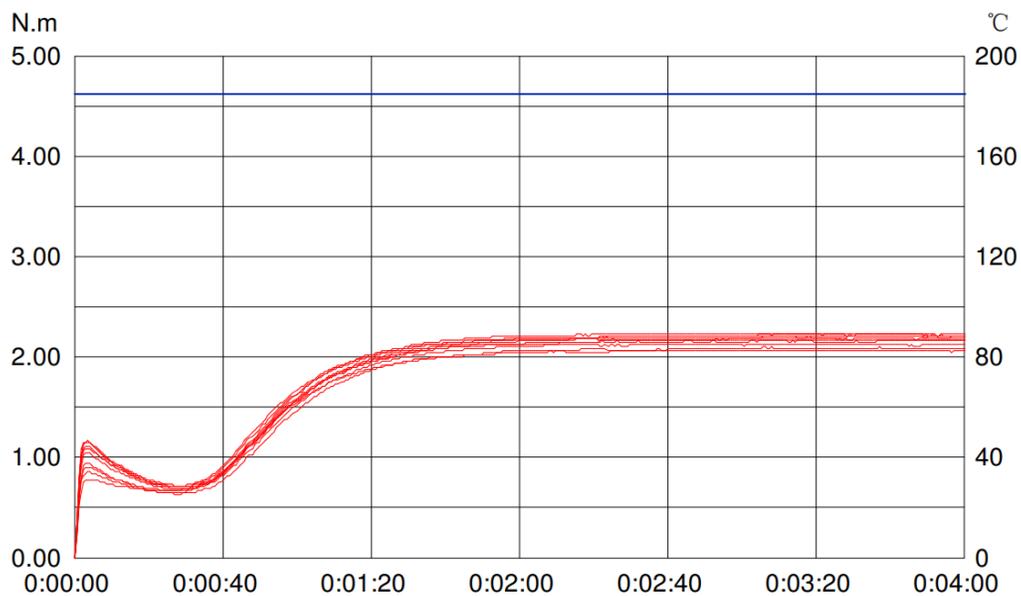


Fig. 22. Curvas de vulcanización de muestras a temperatura ambiente [Elaboración propia].

En la **Fig. 22** se muestra el gráfico donde se observa el comportamiento de las curvas de vulcanización cuando las muestras se encuentran a temperatura ambiente; estos datos corresponden

a los de color negro en la **TABLA III**. Las curvas obtenidas presentan el mismo comportamiento, lo que indica que las muestras pertenecen a una misma formulación.

En relación con esta misma figura, los valores de MH y ML obtenidos se muestran a continuación en la **TABLA IV**.

TABLA IV. VALORES DE MH Y ML PARA MUESTRAS A TEMPERATURA AMBIENTE [Elaboración propia].

N° de ensayo	Ref. de reometría	ML	MH	MH -ML
2	NG2603ES2	0,643	2,106	1,463
4	NG2803ES4	0,722	2,203	1,481
6	NG2803ES6	0,693	2,134	1,441
7	NG2903ES7	0,674	2,246	1,572
8	NG3003ES8	0,709	2,181	1,472
9	NG3103ES9	0,657	2,177	1,52
10	NG0104ES10	0,676	2,216	1,54
11	NG0404ES11	0,712	2,224	1,512
12	NG0504ES12	0,697	2,078	1,381
16	NG0804ES16	0,718	2,242	1,524

De esta **TABLA IV**, es interesante destacar la diferencia entre los torques MH y ML, que, de acuerdo a lo estudiado, hace referencia a la densidad de entrecruzamiento del material [38]. Los resultados indican que esta diferencia (MH – ML) exhibe la misma tendencia que el torque máximo MH, ya que, el valor mínimo de MH corresponde al valor mínimo de la diferencia entre torques (prueba N° 12 y con referencia de reometría NG0504ES12), de igual forma para el valor máximo marcado como prueba N° 7 y referencia de reometría NG2903ES7, en la misma tabla. Para ambos datos se observa que el T90 es 1 minuto con 27 segundos (**TABLA III**); lo que da un indicio del T90 estándar para este compuesto de caucho.

Ya teniendo un valor de T90 específico, haciendo uso nuevamente de la **TABLA III**, se identificaron otras pruebas a temperatura ambiente con este mismo tiempo óptimo de curado, estos son los nombrados con la referencia de reometría NG3103ES9 (prueba N° 9) y NG0404ES11 (prueba N° 11), todo esto para mirar la tendencia de la diferencia de torques. Se llegó a la conclusión de que efectivamente disminuye con el paso del tiempo, por lo tanto, se espera que el valor de la dureza también disminuya, lo que se pudo observar de manera experimental en este

ensayo. Se espera este resultado porque al disminuir la densidad de entrecruzamiento, disminuye la rigidez y por lo tanto el módulo elástico propiedad íntimamente relacionada con la dureza. Para confirmar el valor de T90 estándar, se construyó una campana de Gauss (**Fig. 23**) con los valores de T90 de las muestras a temperatura ambiente. En la **TABLA V**, se muestran los valores, en segundos, requeridos para la construcción de este gráfico. Aquí se muestra el promedio, 76,5 segundos, equivalente al valor dicho anteriormente, 1:27 segundos, lo que confirma este valor como el estándar para este compuesto de caucho.

TABLA V. Valores para la construcción de la campana de Gauss usando T90 (s) de muestras a temperatura ambiente [Elaboración propia].

Promedio T90(s)	Mínimo T90 (s)	Máximo T90 (s)	Desviación estándar
76,5 (1:27)	75,6 (1:26)	77,4 (1:29)	0,509901951

Nota: El valor en el paréntesis corresponde al tiempo en minutos.

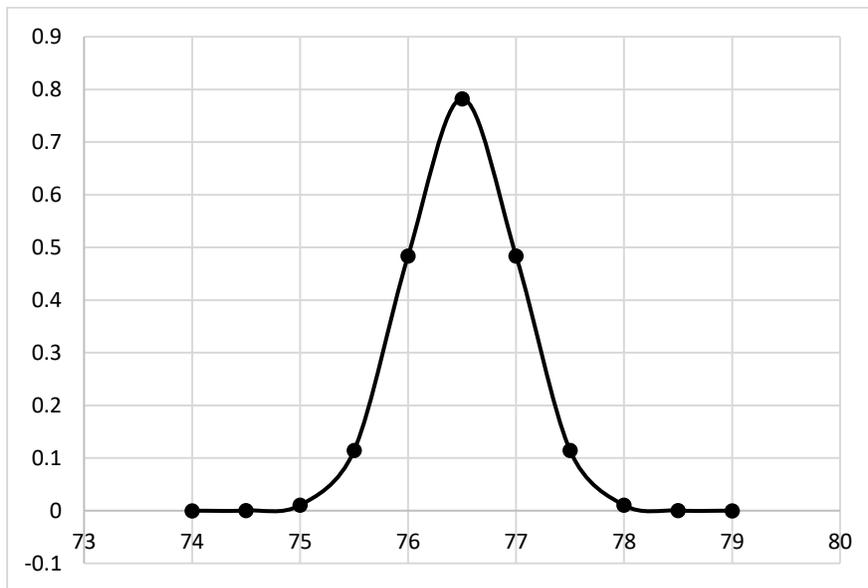


Fig. 23. Distribución normal de T90 (s) para muestras a temperatura ambiente del compuesto de caucho color negro fabricado en Darrow [Elaboración propia].

La **Fig. 24**, muestra el gráfico con las curvas de vulcanización correspondientes a MH mínimo y máximo.

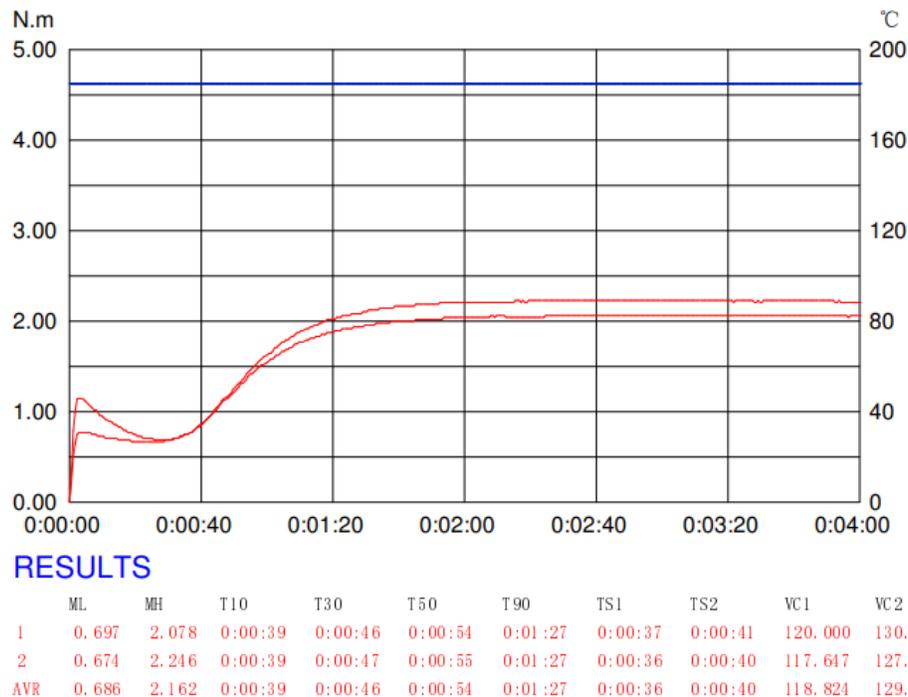


Fig. 24. Curvas de vulcanización correspondiente a MH mínimo y máximo [Elaboración propia].

En cuanto al comportamiento del T90 para las muestras recién sacadas de la nevera (marcadas en azul), se observa que son similares, siendo el valor representativo 1 minuto con 28 segundos. El valor de la dureza en todo el ensayo varía siempre entre 65 y 72 Shore A, que es un valor típico cuando se habla de empaquetaduras en caucho. Como aclaración, en cuanto a esta propiedad (dureza), en la **TABLA III**, para algunos casos se presenta con dos valores porque se realizó la medición en varios puntos de la probeta y el resultado fue diferente, pero a partir del ensayo N°9, la propiedad comienza a ser más constante. La diferencia de espesor está relacionada con la uniformidad en el proceso de laminación, que al igual que la dureza también se tomó en diferentes puntos.

6.2 Elaboración e implementación de hojas de proceso y control para la estandarización de las variables operacionales empleadas en la fabricación de culatines y tazas de carburador

6.2.1 Resultados de trabajo en planta y construcción de hojas de proceso

DARROW <small>Soluciones para tu molde</small>		HOJA DE PROCESO Y CONTROL						Código interno de la referencia			
NORMAS Y PROCEDIMIENTOS		Emisión N°:		Fecha efectividad:		Departamento: Ingeniería		Hoja 1 de 1			
Fabricante:		YAMAHA		Material:		Caucho Nitrilo					
Código:		Código interno de la referencia		Espesor nominal:		2 mm					
Aplicación:		BWS 100		Área de fabricación:		Sector Cauchos					
Denominación:		Taza de carburador		Clasificación:		Tipo B					
MATERIAS PRIMAS											
N°	MATERIAL	ESPESOR	CONSUMO / EMPAQUE		DIMENSIONES	CONSUMO MOLDE		cm ³	g		
			UND.	(g/u)		cm ³	g				
1	PASTA COLOR CAFÉ	Rango de variación del espesor (mm) de la materia prima	# de unidades (tiras o cuadrados) para obtener un empaque	Rango de peso de cada unidad	Dimensiones establecidas para obtener un empaque	Consumo total del molde en cm ³	Consumo total del molde en gramos				
OBSERVACIÓN:		Observaciones generales relacionadas con el bloque de información llamado MATERIAS PRIMAS.									
OBSERVACIÓN PARA EL MATERIAL A CARGAR EN EL MOLDE											
CONTROL					MUESTRA FOTOGRAFICA						
Observaciones relacionadas con el proceso de carga de material en el molde.					Fotografía que ilustra el proceso de carga de material en el molde.						
Capacidad instalada:		Información relacionada con la capacidad instalada, variaciones de la capacidad instalada y peso de producto terminado (g).									
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y CONTROL											
PASO	DESCRIPCIÓN	MÁQUINA	HERRAMIENTA		PARÁMETROS MÁQUINA					CARACTERÍSTICAS DE CONTROL	OBSERVACIONES
			TIPO	CÓDIGO	t_vulc. (s)	t_total (min)	T_vulc. (°C)	T_molde (°C)	Desfogues		
1	Vulcanizar	Código de identificación del equipo	Molde	Código del molde	Parámetros del proceso o del equipo para obtener un producto conforme.					Reometría, Dureza, Visual	Observaciones generales
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:			FECHA ELAB: Fecha de elaboración		Número de la revisión		
María José Olivero Carrascal		Asesora del proyecto		Gerente del área de I+D de la empresa			FECHA ACTU: Fecha de actualización				

Fig. 25. Ejemplo de una hoja de proceso y control para la taza de carburador de la motocicleta BWS 100 de Yamaha [Elaboración propia].

De manera general, en la **Fig. 25**, se esquematiza cómo está construida una hoja de proceso y la información que contiene. Debido a la variabilidad que presenta el espesor en los compuestos de caucho color negro y café para la fabricación de culatines y tazas de carburador, respectivamente, se implementó como estrategia para la estandarización del proceso, tomar la variable peso (expresado en gramos por unidad (g/u)), como la indicativa para obtener un producto con las características de calidad y consumo de material óptimo requeridas. Es decir que, cuadros o tiras de material como los que se ven en la **Fig. 26**, deben encontrarse dentro del rango de peso establecido para cumplir con lo anterior.

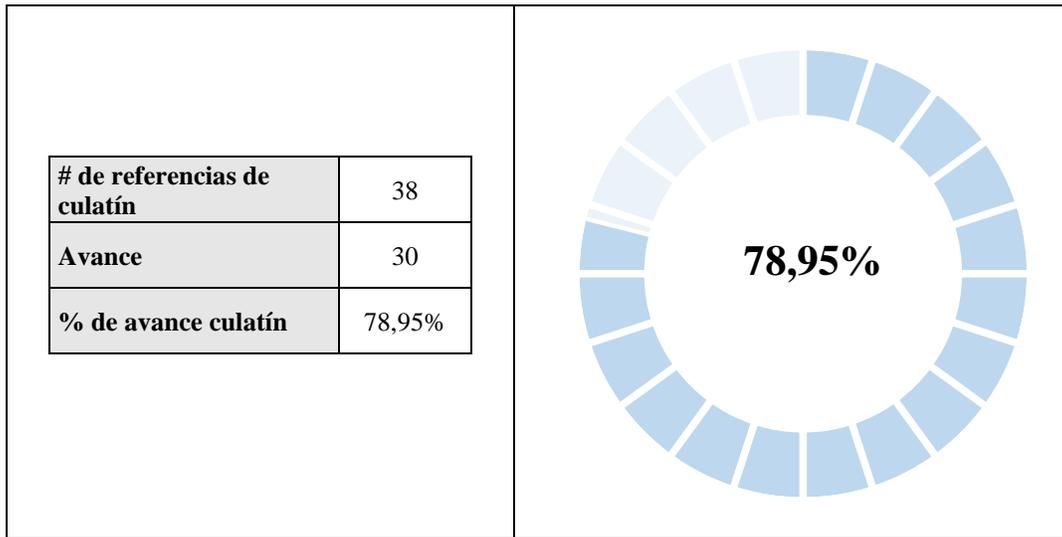
Por motivos de confidencialidad de la empresa no se pueden exponer en su totalidad datos reales relacionados con el proceso de manufactura, pero sí es oportuno comentar que el establecimiento de algunas variables de proceso como el tiempo de vulcanización, fue y sigue siendo, por prueba y error, atendiendo prioritariamente a su máxima reducción, aunque la tecnología moderna necesita fundamentos más adecuados y precisos. Es en este punto donde los tiempos reales de vulcanización en moldeo por compresión se vinculan con los parámetros reométricos a través de relaciones tiempo – temperatura de cura, basadas en leyes cinéticas y termodinámicas [39].



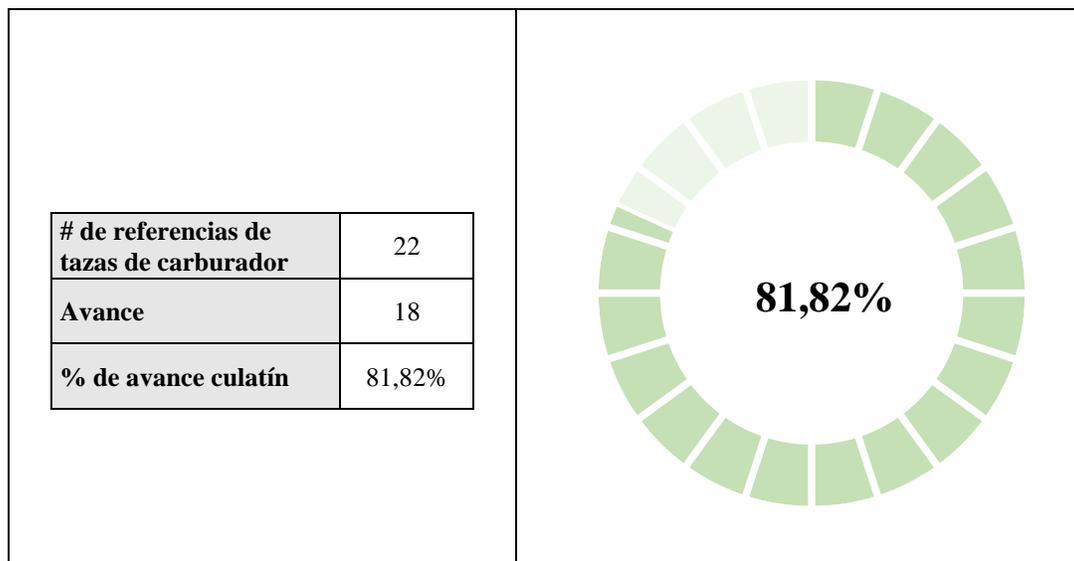
Fig. 26. Proceso de manufactura de empaques en Darrow [Elaboración propia].

6.2.2 Resultados de la documentación del proyecto

Como resultado de la identificación del número de referencias disponibles y activas, se logró determinar que en Darrow existen 38 referencias de culatines y 22 referencias de tazas de carburador fabricadas en caucho, para un total de 60 referencias, lo que quiere decir, que el objetivo era elaborar 60 hojas de proceso y control. Los datos que se presentan en la **TABLAS VI y VII** muestran el avance alcanzado.

TABLA VI. AVANCE GENERAL REGISTRADO PARA CULATINES (CÓDIGO 17H) [Elaboración propia].**TABLA VII.** AVANCE GENERAL REGISTRADO PARA TAZAS DE CARBURADOR (CÓDIGO 12C)

[Elaboración propia].



Como se evidencia en la información anterior, se lograron realizar 30 hojas de proceso para culatines de 38 en total y 18 para tazas de carburador de 22 en total, alcanzando un % de avance de 78,95% y 81,82%, respectivamente, por lo tanto, se realizaron 48 hojas de proceso y control. Para lograr este resultado en cierto punto del proyecto con la ayuda del área de planeación de demanda se creó una orden de producción con las referencias faltantes hasta ese momento, las

cuales eran en su mayoría clasificación B y C, es decir, que se producen en poca cantidad con respecto a las tipo A, pero que son un elemento diferenciador de la empresa.

La **TABLA VIII** y la **TABLA IX** resumen el número de referencias por clasificación según producción, y el porcentaje de avance logrado.

TABLA VIII. Clasificación de las referencias de culatines según producción y porcentaje de avance [Elaboración propia].

Clasificación	# de culatines identificados	Avance	% de Avance
A	14	14	100
B	12	11	91,67
C	12	5	41,67
TOTAL	38	30	

TABLA IX. Clasificación de las referencias de tazas de carburador y porcentaje de avance [Elaboración propia].

Clasificación	# de tazas de carburador identificadas	Avance	% de Avance
A	13	13	100
B	5	4	80
C	4	1	25
TOTAL	22	18	

6.2.3 Resultados de la implementación de las hojas de proceso

Para entender cómo implementar de forma correcta esta herramienta se construyó un diagrama de flujo que fue el resultado de la socialización con los supervisores del área de cauchos a medida que se ponían a disposición las hojas de proceso en esta área de trabajo. En la **Fig. 27**, se presenta el diagrama realizado.

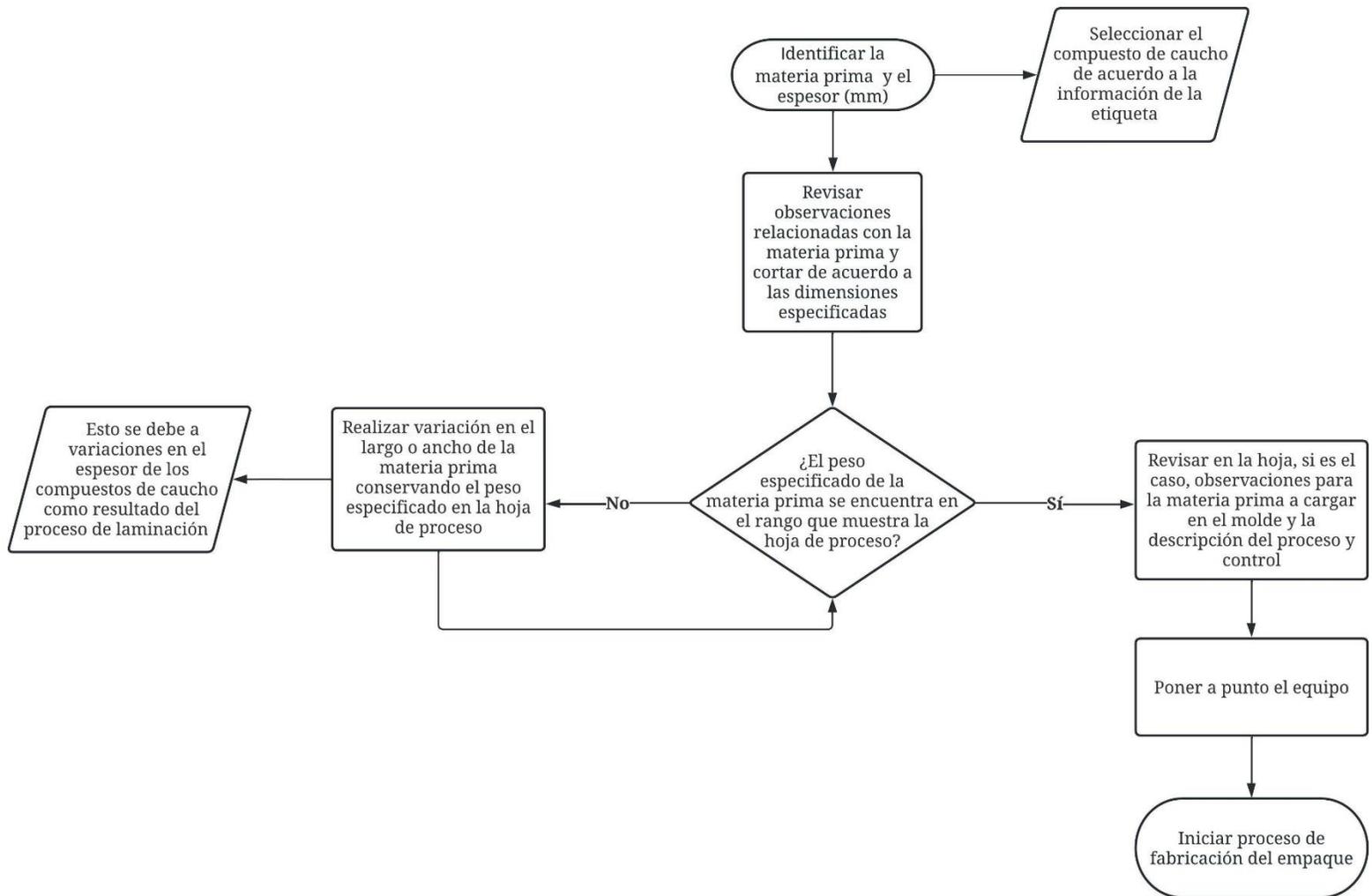


Fig. 27. Diagrama de flujo que esquematiza la implementación de una hoja de proceso y control.

7. CONCLUSIONES

Los resultados logrados con este trabajo son relevantes para Darrow, Soluciones Para Tu Moto, porque se lograron abordar de manera satisfactoria puntos específicos de un proceso de manufactura que no habían sido estudiados a cabalidad por la empresa. A través del trabajo en planta, del conocimiento teórico - práctico adquirido y de lo escrito en este documento se resaltan a modo de conclusión los siguientes aspectos:

1. En las técnicas de procesamiento de materiales poliméricos, específicamente en la vulcanización de moldeo por compresión, es necesario que se presente un cierto porcentaje de rebaba para obtener un producto con un acabado de calidad.
2. A la hora de fabricar un producto es vital que el operario tenga muy claro el aspecto operativo del proceso, cualquier variabilidad afecta la calidad del producto final y el estado del molde.
3. El diseño y mantenimiento adecuado del molde es fundamental porque se evita el consumo de material y además se garantiza, que, en lo posible, esté disponible para su uso la máxima capacidad instalada del molde, y como siempre, se garantice calidad en el acabado de los productos.
4. Debido a la aplicación de los productos fabricados (empaques) y al funcionamiento de los equipos empleados, se hace necesario la implementación de un sistema de calidad riguroso, con procesos estandarizados que utilicen como herramienta base hojas de proceso y control.
5. Parámetros como el tiempo y la temperatura de vulcanización son variables de importancia mayor, porque son determinantes de los mejores valores de las propiedades, especialmente en el caso de tener que optimizar o resolver una solución de compromiso entre ellas.
6. Cuando se quiere estudiar el tiempo de curado óptimo para un proceso de vulcanización de moldeo por compresión se necesita hacer una vinculación tiempo – temperatura que relacione la cura real del equipo con la ideal, isotérmica, del reómetro.
7. En este tipo de procesos, es muy importante satisfacer el T50 y T90, en el caso de los procesos de vulcanización en Darrow, con un tiempo de vulcanización entre 50 y 60 segundos se satisface el T50 y con un tiempo total de ciclo en promedio de minuto con 30 segundos se satisface el T90, esto depende siempre de la referencia que se esté fabricando y de la materia prima utilizada.
8. Por último, a modo de sugerencia, se recomienda a la empresa que considere en un futuro cercano

la adquisición de nuevos equipos que complementen el laboratorio de calidad, y se logre tener como punto fuerte el sector cauchos de la empresa.

8. REFERENCIAS

- [1] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) y ProColombia. (2019). Portfolio of the colombian automotive industry. <https://bit.ly/3EfXApD>
- [2] Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2017, 13 de febrero). Autopartes. Fortalecimiento de la educación técnica y tecnológica. <https://bit.ly/3M4gCSH>
- [3] Darrow, Soluciones para tu moto. Quiénes somos - Darrow, Soluciones para tu moto. Darrow Soluciones para tu moto. <https://darrow.com.co/quienes-somos/>
- [4] Publimotos. (2021, 16 de abril). No cambie el empaque de la moto sin leer este artículo. Publimotos - Revista de Motos. <https://bit.ly/3rrKYH4>
- [5] K. L. Richards, "Chapter 42 - Engineering Seals", en *Design Engineer's Sourcebook*. CRC Press, 2018, p. 1015.
- [6] P. R. N. Childs, "Chapter 14 - Seals", en *Mechanical Design Engineering Handbook*. Butterworth-Heinemann, 2014, pp. 565–568.
- [7] Andi, "La industria automotriz es el 6,2% del PIB industrial". [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3jChqSG>
- [8] Superintendencia de Industria y Comercio y Pontificia Universidad Javeriana. "Autopartes Diseño de Componentes". [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3xvdKE7>
- [9] Invierta en Colombia. "Automotriz". [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ObE2ax>
- [10] R. T. Westcott y G. L. Duffy, *The Certified Quality Improvement Associate Handbook*, 3ª ed. ASQ Quality Press, 2015.
- [11] A. F. Shay, "Part 1. The accommodations system model", en *Assistive Technology Service Delivery*. Academic Press, 2019, pp. 1–4.
- [12] L. W. McKeen, "1 - Introduction to Plastics and Polymers", en *The Effect of UV Light and Weather on Plastics and Elastomers*. 4ª ed. William Andrew, 2019, pp. 1–20.
- [13] K. S. Sisanth, M. G. Thomas, J. Abraham y S. Thomas, "General introduction to rubber compounding", en *Progress in Rubber Nanocomposites*. Woodhead Publishing, 2017, pp. 3–12.
- [14] B. Rodgers y W. Waddell, "Chapter 9 - The Science of Rubber Compounding", en *The Science and Technology of Rubber*. 4ª ed. Academic Press, 2013, pp. 417–461.
- [15] B. Stritzke, *Custom Molding of Thermoset Elastomers - A comprehensive Approach to Materials, Mold Design, and Processing*. Hanser Publishers, 2009.
- [16] L. W. McKeen, "Chapter 10 - The effect of heat aging on the properties of elastomers and

- rubbers", en *The effect of Long Term Thermal Exposure on Plastics and Elastomers*. 2ª ed. 2021, pp. 307–308.
- [17] L. McKeen, "10 - Elastomers", en *The Effect of Sterilization Methods on Plastics and Elastomers*. 4ª ed. William Andrew, 2018, pp. 305–306.
- [18] R. Rajarajan, "Determination of optimum cure state of elastomers", Master's thesis, Institute for Materials Science, 2017.
- [19] AnQore, "The many uses of NBR (Nitrile Butadiene Rubber) | AnQore". [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3JN5GHq>
- [20] P. R. N. Childs, "14 - Seals", en *Mechanical Design Engineering Handbook*. 2ª ed. Butterworth-Heinemann, 2019, pp. 659–668.
- [21] R. Sinnott y G. Towler, "Chapter 13 - Mechanical Design of Process Equipment", en *Mechanical Engineering Design*. 6ª ed. Butterworth-Heinemann, 2020, p. 991.
- [22] "Procesamiento de materiales poliméricos", Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales", Universidad de Antioquia, 2019.
- [23] Gomline Compounding Technology. "CASE STUDY RHEOMETRIC REPORT - Gomline d.o.o". [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3uOtZRk>
- [24] M. Erfanian, M. Anbarsooz y M. Moghiman, "A three dimensional simulation of a rubber curing process considering variable order of reaction", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 40, pp. 8597–8598, 2016.
- [25] S. Castañeda Gutiérrez. "REOMETRIA EN HULES, Significado y uso". LinkedIn. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3vnaHBp>
- [26] A. B. Sullivan y R. W. Wise, "Processing and vulcanization tests", en *Rubber Technology*. Springer, Dordrecht, 1999, p. 106.
- [27] S. Raa Khimi y K. L. Pickering, "A New Method to Predict Optimum Cure Time of Rubber Compound Using Dynamic Mechanical Analysis", *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 131, pp. 1–2, 2013.
- [28] J. S. Dick, "3 - Vulcanizate Physical Properties, Performance Characteristics, and Testing", en *Rubber Technology - Compounding and Testing for Performance*. 3ª ed. Hanser, 2020, pp. 47–48.
- [29] K. S. Sisanth, M. G. Thomas, J. Abraham y S. Thomas, "General introduction to rubber compounding", en *Progress in Rubber Nanocomposites*. Woodhead Publishing, 2017, pp. 35–36.
- [30] J. Bergstrom, "2 - Experimental Characterization Techniques", en *Mechanics of Solid Polymers - Theory and Computational Modeling*. William Andrew, 2015, pp. 48–49.
- [31] V. C. Chandrasekaran, "7 - Typical Rubber Testing Methods", en *Essential Rubber Formulary - Formulas for Practitioners*. William Andrew, 2007, pp. 17–18.
- [32] PTC® Instruments On-Line Store. "PTC® Instruments Shore A Scale Durometer Model 408".

[En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3KQpmf4>

[33] Mi Conveyance Solutions. "Why it's Important to Understand Durometer and Shore Hardness Scales". [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3uM5bJx>

[34] Fondo Pyme. "Técnica 8. Estandarización de Procesos". [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3vkhz2p>

[35] A. Y. Coran, " Chapter 7 - Vulcanization", en *The Science and Technology of Rubber*. 4^a ed. Academic Press, 2013, p. 338.

[36] A. Mohammad y G. P. Simon, "12 - Rubber - clay nanocomposites", en *Polymer Nanocomposites*. Woodhead Publishing in Materials, 2006, pp. 301–304.

[37] R. A. Tatara, "14 - Compression Molding", en *Applied Plastics Engineering Handbook - Processing, Materials, and Applications*. 2^a ed. William Andrew, 2017, pp. 291–308.

[38] E. Princi, "Rubber materials and products testing", en *Rubber: Science and Technology*. De Gruyter, p. 169.

[39] E. Friedenthal, "Optimización de tiempos de vulcanización en moldeo por compresión", *Revista SLTCAUCHO - Industria y tecnología en América Latina*, n.º 6, pp. 7–8, 2015.