

# ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA VARIABILIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE HULE GRANULADO HEM-20 EN UNA EMPRESA MEXICANA

70

## DESCRIPTIVE ANALYSIS OF THE VARIABILITY IN THE MANUFACTURING PROCESS OF HEM-20 GRANULATED RUBBER IN A MEXICAN COMPANY

### AUTORES

#### Sebastián Núñez Chavarro

Técnico en Sistemas del Centro de Biotecnología Industrial – SENA; Tecnólogo en Mecatrónica Industrial e Ingeniero Industrial en formación de la Institución Universitaria Antonio José Camacho, Colombia; con estudios en emprendimiento social e innovación de la Universidad de Guadalajara, México, diplomado en Diseño web con HTML5 + CSS y en Diseño web usable y accesible, diplomado en Docencia Universitaria con Énfasis en Modelos Pedagógicos para la Educación Superior. Integrante del grupo de investigación espacial UDEG SPACE de la UdeG en Jalisco, México; Embajador estudiantil de Microsoft en el programa global, asesor metodológico de investigación en Colombia y México. Semillero de SICNO e Investigador del grupo anudamientos adscrito a la Facultad de Ciencias Sociales y Humanas de Unicamacho, Cali, Colombia. Correo: snunezch@estudiante.uniajc.edu.co

#### Juan Carlos Barajas Chávez

Ingeniero Industrial con maestría en administración de sistemas de calidad de la Universidad del Valle de México (UVM) Villahermosa, Tabasco, México. Docente e investigador del área de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de las Choapas (TecNM Campus Las Choapas) en México, asesor en proyectos de residencias profesionales con trayectoria en empresas agroforestales e industriales con énfasis en plantaciones, cultivos y transformaciones de materia prima. Correo: jcbarajas1919@gmail.com

### Sebastián Núñez Chavarro y Juan Carlos Barajas Chávez

Semillero SICNO  
Grupo de investigación Anudamientos  
Institución Universitaria Antonio José Camacho – Colombia  
Instituto Tecnológico Superior de las Choapas – México  
Recibido: 09/11/2023 - Aceptado: 13/12/2023

**Para citar este artículo:** Núñez Chavarro, S. y Barajas Chávez, J. C. (2023). Análisis descriptivo de la variabilidad en el proceso de fabricación de hule granulado HEM-20 en una empresa mexicana. Revista Sapientia, 16(31), 70-89. 10.54278/sapientia.v16i31.176

## RESUMEN

El presente artículo responde a la interrogante de ¿Cómo determinar la variabilidad en el proceso de fabricación de hule granulado HEM-20 para cumplir con las especificaciones de calidad, mediante pruebas físicas de viscosidad Mooney y herramientas de estadística descriptiva? Se asume una perspectiva teórica fundamentada en la estadística descriptiva para el control de procesos. La metodología trabaja bajo un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo; el proceso consistió en el análisis de 52 muestras de hule granulado HEM-20 extraídas aleatoriamente en el proceso productivo, las cuales fueron evaluadas con un viscosímetro Mooney. Los datos se procesaron mediante cartas de control estadístico I-MR y análisis de capacidad de proceso en Minitab 18. Los hallazgos y resultados evidenciaron que el proceso es inestable en la viscosidad Mooney, presentando variabilidad especial por contaminación en la materia prima y falta de control en la temperatura de secado. Asimismo, el análisis de capacidad demostró que no cumple con las especificaciones requeridas. En este sentido, se concluye la necesidad de implementar mejoras enfocadas en la estabilización del proceso para volverlo capaz de producir dentro de los parámetros solicitados por el cliente. Finalmente, Se indica que el beneficio de la estadística descriptiva para un sistema de control estadístico eficiente genera la competitividad de la empresa basado en el mejoramiento de la calidad y productividad.

**Palabras clave:** Calidad, Estadística descriptiva, Viscosidad Mooney, Hule, Mejoramiento continuo.

## ABSTRACT

The present article responds to the question of how to determine variability in the HEM-20 granulated rubber manufacturing process to meet quality specifications, through physical tests of Mooney viscosity and descriptive statistical tools. A theoretical perspective based on descriptive statistics for process control is assumed. The methodology works under a quantitative approach, with a descriptive scope. The process consisted of the analysis of 52 randomly extracted HEM-20 granulated rubber samples in the production process, which were evaluated with a Mooney viscometer. The data was processed by means of statistical control charts I-MR and process capability analysis in Minitab 18. The findings and results showed that the process is unstable in Mooney viscosity, presenting special variability due to contamination in the raw material and lack of control in the drying temperature. Likewise, the capability analysis demonstrated failure to meet the required specifications. In this sense, it is concluded the need to implement improvements focused on stabilizing the process to make it capable of producing within the parameters requested by the customer. Finally, it is indicated that the benefit of descriptive statistics for an efficient statistical process control system generates the competitiveness of the company based on the improvement of quality and productivity.

**Key words:** Quality, Descriptive statistics, Mooney Viscosity, Rubber, Continuous improvement.

**E**n Estados Unidos Mexicanos la producción de la Hevea brasiliensis (Hule natural), se dispone en el trópico húmedo, principalmente en el centro y sur del Estado de Veracruz, oeste de Tabasco, noreste de Oaxaca y en las regiones de Palenque y Soconusco en Chiapas (Lazo, 2014).

El consumo estimado en 1995, incluyendo hule sólido y látex, es de alrededor de 75.000 toneladas, del hule sólido el 82% es consumido por la industria llantera, siendo aproximadamente el 95% de este hule granulado calidad HEM 20 (Hule Estandarizado Mexicano de calidad 20). El 18% restante es consumido por renovadoras y pequeños fabricantes de artículos varios ... (Companion, 1998, citado en Rojo, et al., 2011, pp. 42-43).

Los problemas de calidad en la planta beneficio de la empresa de estudio, se miden en porcentajes de producto no conforme o PPM (Número de partes no conformes en el proceso), sobre el total producido en un lapso determinado de tiempo. Para ello, se determinó una serie de problemáticas latentes que se presentan en la planta beneficio, entre las que se encuentran las diferentes características físicas que requieren los clientes de caucho natural, como lo son: Viscosidad Mooney, Plasticidad inicial (PO) e Índice de Retención de Plasticidad (PRI). Siendo entonces, la viscosidad Mooney la variable más importante de los hules de viscosidad controlada o los de baja viscosidad, en la cual se centrará el presente artículo.

Asimismo, la estandarización de procesos productivos es crucial en la industria manufacturera moderna para garantizar la calidad y consistencia de los productos finales. En ese contexto, Tapia-Torres et al. (2021) resaltan la utilidad del análisis estadístico descriptivo de la variabilidad inherente a cualquier proceso, como punto de partida para su control y mejora continua, en su caso particular la fabricación de cinturones dentro de la industria marroquinera.

El presente estudio se enfoca en caracterizar la variabilidad del proceso de producción de hule granulado HEM-20 en una planta industrial, mediante el uso de herramientas de control estadístico de procesos, partiendo de la estadística descriptiva, dado su impacto en cumplir con especificaciones técnicas de viscosidad Mooney, un parámetro crítico de calidad para los clientes.

Actualmente, la empresa utiliza métodos de control de calidad para medir la producción de caucho técnicamente especificado HEM-20 cuando el producto ya está elaborado, generando una gran cantidad de producto no conforme, lo que trae consigo pérdidas económicas considerables. De acuerdo con lo anterior, este estudio se enfoca en responder la pregunta de investigación ¿Cómo determinar la variabilidad en el proceso de fabricación de hule granulado HEM-20 para cumplir con las especificaciones de calidad mediante pruebas físicas de viscosidad Mooney y herramientas de estadística descriptiva?, y que tiene como finalidad analizar la prueba física con el método estadístico de nombre carta de control I-MR y Capacidad Real de proceso [PpK]. En este sentido, con las mediciones de cada muestra se calcula la media y el rango móvil en un período de tiempo definido, a través de una muestra que aporta información sobre la tendencia central y la variabilidad del proceso del hule granulado grado 20 (HEM-20), respectivamente.

En concordancia con lo anterior, a través de la carta I, se analiza la variación de cada muestra con respecto a la media de todas las muestras, para así detectar cambios en la media del proceso. La carta MR, en cambio, se realiza entre los rangos de cada muestra permitiendo detectar alteraciones en la amplitud de la variación del proceso.

Asimismo, con el control estadístico de procesos [CEP], se pretende medir la variabilidad de los resultados de las pruebas físicas proporcionados por el departamento de calidad a través de la implementación del viscosímetro Mooney para poder observar la estabilidad del proceso y capacidad real [PpK].

## MARCO TEÓRICO

Con el objetivo de comprender a profundidad el presente estudio, se procede a relacionar un marco teórico que facilitará la apropiación de conceptos/teorías que fundamentan la metodología implementada.

### Control estadístico de procesos [CEP]

Conocida como una herramienta fundamental en los procesos de gestión de calidad, permite conocer, prevenir y corregir los problemas dentro de un proceso productivo. Su implementación facilita la reducción de costos a través de dos razones principales: la inspección por muestreo y la reducción del rechazo (Hernández-Pedraza y Silva-Portofilipe, 2016).

Esta herramienta detecta anomalías o problemas dentro de la producción, de tal manera que, se puedan tomar decisiones que faciliten la implementación de acciones correctivas antes de que se presenten las inconformidades. Para tal fin, se debe planificar y determinar cuándo un proceso se encuentra fuera de control por medio de herramientas estadísticas que, a través de criterios premeditados, se provea por la medición, detección y corrección de las variaciones presentes dentro del proceso, disminuyendo el impacto de calidad del producto final (Conexión Esan, 2017).

### Estadística descriptiva

Existe una serie de tipos de análisis para el Control Estadístico de Procesos [CEP], entre los más utilizados se encuentran el descriptivo, inferencial, predictivo, prescriptivo, exploratorio, causal y mecanicista. En este sentido, la estadística descriptiva permite en un primer momento recolectar, organizar y analizar datos adquiridos a través de una muestra poblacional definida, para posteriormente describirlos y comprenderlos para la toma de decisiones y generación de conclusiones (Sucasaire, 2021). En este caso, la estadística descriptiva como método de análisis en el Control Estadístico de Procesos productivos, permite en un primer momento determinar y describir los hallazgos obtenidos tras una serie de análisis de muestras recolectadas, para posteriormente, generar técnicas de control por medio de la toma de decisiones que disminuyan la variabilidad de esta.

### Cartas de control

Dentro del Control Estadístico de Procesos [CEP] se hace uso de una herramienta denominada cartas de control, las cuales permiten determinar si un proceso se encuentra efectivamente bajo control o está desfasado, esto se logra a través del monitoreo constante de una variable en el transcurrir del tiempo (Restrepo, 2018). Es importante reconocer que existen cartas para variables y atributos, por un lado, las cartas para variables se segmentan en X-R, X-S e I-MR, siendo estas últimas las apropiadas para el presente estudio, debido a que el tamaño de las muestras es constante (Herrera, et al., 2019).

La carta I monitorea la media del proceso, mientras que la carta MR (Moving Range) supervisa su variabilidad a través del rango móvil entre muestras consecutivas (Herrera, et al., 2018). Ambas cuentan con un límite central, límite superior e inferior y zonas A, B y C que facilitan su interpretación.

### Capacidad de proceso

Siendo esta otra herramienta importante en el control estadístico de procesos, es reconocida por proveer las especificaciones y de medir la capacidad que tiene un proceso para cumplirlas. El objetivo principal radica en reducir el mayor porcentaje de variación entre los productos y las especificaciones, con la finalidad de tener un proceso estable y un producto más homogéneo (Polanía, 2019). Los índices Cp y Cpk son ampliamente utilizados, siendo Cpk la capacidad real considerando la centralización.

En afinidad con lo anterior, se pueden encontrar que los índices de capacidad se hallan en función del tiempo, por ejemplo, si se habla de un análisis con variaciones a corto plazo se interpretan los índices Cp, Cpk, CPU y CPL, mientras que si la variación se presenta a largo plazo se analizan Pp, Ppk, PPL y Cpm (Salazar y Fermín, 2016).

### Control estadístico de procesos aplicado en la industria

Tapia-Torres et al. (2021) en su investigación denominada "Control estadístico de procesos aplicado en una empresa de marroquinería", tipifica y fundamenta la importancia de la estadística descriptiva en el control y análisis de la capacidad para proponer mejoras a futuro, relacionadas con el incremento de la calidad

en sus procesos productivos de fabricación de cinturones dentro de la industria marroquinera.

El proceso aquí descrito se encuentra relacionado con la metodología y procedimiento llevado a cabo en el presente estudio, pues su objetivo se enfocó en el análisis descriptivo del proceso productivo dentro de sus etapas de fabricación de cinturones para determinar las variaciones existentes, en función de los límites de control proyectados, arrojando resultados como que el proceso de refilado es incapaz de cumplir con las especificaciones requeridas. Es así como, el descentrado del proceso es una de las causas de dicho hallazgo, motivo por el cual se recomienda minimizar el descentrado del proceso para mejorar la capacidad del proceso y reducir la probabilidad de producir partes o productos que no cumplan con las especificaciones.

### Mejora continua

Dentro de la mejora continua se pueden implementar herramientas que faciliten el análisis de un proceso como lo son el ciclo PHVA, metodología seis Sigma, diagrama de Ishikawa y diagrama de Pareto, con la finalidad de identificar las causas de la variación.

Es por lo anterior que, el concepto se comprende como aquel que parte de la filosofía japonesa que tiene como objetivo, fomentar ventajas competitivas empresariales basadas en cada fase o etapa del proceso productivo a través de la perfección de la calidad o calidad total (Zayas, 2022), incorporando así a varias áreas de la organización.

Asimismo, la mejora continua debe ser un proceso inherente a la calidad de un producto, pues este es un proceso ininterrumpido que admite identificar áreas de oportunidad latentes en la cual se planea cómo ejecutar la mejora continua, cómo comprenderla, analizarla y finalmente, utilizarla para la toma de decisiones oportunas (Ramos, 2017).

### Viscosímetro Mooney

Herramienta implementada para la medición de viscosidad del caucho crudo y/o cargas mezcladas con compuestos de caucho, usado comúnmente para analizar y medir el tiempo de quema al cual éste es sometido (Muñoz y Cedillo, 2015); aquel que se enfoca en la rotación de un rotor incrustado dentro de una muestra del caucho.

Es importante relacionar que la viscosidad Mooney puede variar como consecuencia de la concentración del caucho, permitiendo que un látex fresco tenga un valor inferior respecto a un látex concentrado (Peralta, 2022).

### Hule granulado HEM-20

El hule granulado HEM-20 es un tipo de caucho natural procesado que se utiliza en diversas aplicaciones industriales. Algunos puntos importantes sobre este material son:

- HEM significa "Hule Estandarizado Mexicano". Es una clasificación nacional de caucho natural en Estados Unidos Mexicanos.
- El número 20 indica el grado técnico según la Norma ASTM D1076. Corresponde a caucho con una viscosidad Mooney entre 65-69 unidades.

Se produce a partir de látex natural coagulado y secado. Luego se muele y granula en partículas de tamaño controlado.

Sus principales características son: alta resistencia y elasticidad, buena flexibilidad, resistencia al desgaste, aislante. Se utiliza principalmente en la industria automotriz para fabricación de llantas y piezas de hule. También en la industria del calzado, mangueras, empaques, etc.

Debe cumplir con requisitos físicos como plasticidad, viscosidad Mooney, contenido de impurezas, etc. según normas como ASTM, ISO, entre otras. Para controlar su calidad se realizan pruebas estandarizadas (viscosidad Mooney, densidad, etc.) y análisis estadísticos.

En este sentido, se tiene como referente que para 1995, tanto el hule sólido como el látex tuvieron un consumo aproximado de 75.000 toneladas, de los cuales el hule sólido representó el 82% enfocado en la industria llantera, representando en promedio un 95% de hule granulado calidad HEM-20 (Rojo, et al., 2011).

### Reglas del Doctor Lloyd S. Nelson

Las reglas del Dr. Lloyd S. Nelson son un conjunto de criterios que se utilizan para detectar si un proceso se encuentra fuera de control al analizar una carta de control estadístico. Se basan en

patrones y tendencias atípicas que indican variabilidad anormal en el proceso. Las principales reglas del Dr. Nelson son (Creighton, 2022):

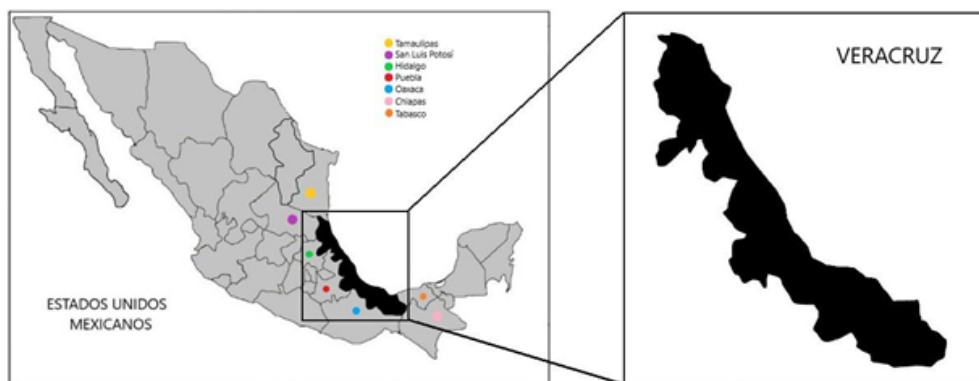
- **Regla 1:** Un punto fuera de los límites de control (LCS o LCI). Indica una causa especial de variación.
- **Regla 2:** Nueve puntos consecutivos del mismo lado de la línea central. Indica un corrimiento en el proceso.
- **Regla 3:** Seis puntos consecutivos ascendiendo o descendiendo. Indica una tendencia sistemática.
- **Regla 4:** Catorce puntos consecutivos alternando arriba y abajo de la línea central. Indica inestabilidad del proceso.
- **Regla 5:** Dos de tres puntos consecutivos en zona A (más de 2 desviaciones estándar de la media) o beyond. Indica un cambio brusco.
- **Regla 6:** Cuatro de cinco puntos consecutivos en zona B (más de 1 desviación estándar) o beyond. Indica una tendencia sospechosa.
- **Regla 7:** Quince puntos consecutivos en zona C (dentro de 1 desviación estándar). Indica que no hay variabilidad especial.
- **Regla 8:** Ocho puntos consecutivos sin ninguno en zona C. Indica una posible causa especial de variación.

## METODOLOGÍA

### Contextualización geográfica del estudio

La investigación se realizó en una colaboración entre el TecNM Campus Las Choapas – México y la Unicamacho – Colombia, las cuales aunaron esfuerzos para impactar a la empresa de estudio enfocada en la producción de hule granulado HEM-20. Esta se encuentra localizada entre las coordenadas al norte 22° 28', al sur 17° 09' de latitud norte; al este 93° 36', al oeste 98° 39' de longitud oeste. Su altitud promedio sobre el nivel del mar es de 300 m y se ubica en la costa del atlántico, en el Golfo de México. Limita al norte con el estado de Tamaulipas, al sur con los estados de Oaxaca y Chiapas, al oriente con San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla y al sureste con el estado de Tabasco. Ocupa una extensión de 71,823 km<sup>2</sup>, cifra que representa el 3.7% del total del país (INEGI, 2020). A continuación, se visualiza la ubicación geográfica del estudio.

**Figura 1.** Mapa de México incluido el estado de Veracruz



### Análisis metodológico

Como en todo estudio, se debe establecer qué tipo de investigación es la que se pretende realizar, sus alcances, instrumentos de recolección y procesamiento de datos. Esto se realiza con la finalidad

de esclarecer hasta qué punto la investigación tendrá propósito, es decir, puede ser únicamente para explicar un suceso, para describirlo, modificarlo, etc., por lo que, de manera continua, en la siguiente tabla se presentan los datos correspondientes a la metodología circunscrita para el presente estudio.

**Tabla 1.** Estructuración de la metodología

<b>ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA VARIABILIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE HULE GRANULADO HEM-20 EN UNA EMPRESA MEXICANA</b>	
<b>Investigación cuantitativa</b>	
<b>Enfoque de la investigación</b>	La investigación tiene este enfoque como consecuencia de la recolección de datos, el estudio de literatura e interpretación de la información, con base en la medición numérica y el análisis detallado que permitan establecer pautas de comportamiento. (Polanía, et al., 2020).
	El tema central de estudio es el control estadístico de procesos en la línea de producción de hule granulado HEM-20, lo cual conlleva la recolección y análisis de datos numéricos en relación con la viscosidad Mooney. Además, se toman las muestras y se compara la variabilidad con gráficas de control I-MR, para determinar la estabilidad del proceso. En esencia la metodología se sustenta numéricamente para relacionar las variables de estudio y así, emprender el comportamiento el proceso productivo.
<b>No experimental</b>	
<b>Diseño de la investigación</b>	La recolección de datos y el análisis estadístico del proceso (gráfica de control I-MR y capacidad real a largo plazo del proceso), no alterarán el proceso de estudio, asimismo, se enfoca en obtener las muestras de hule granulado e identificar la relación entre las variables de estudio. Al ser un tipo de estudio corto, la fase de implementación se tendría que realizar en una segunda etapa.
<b>Estudio descriptivo</b>	
<b>Alcance de la investigación</b>	Se encamina bajo un estudio de alcance descriptivo debido a que se busca caracterizar el proceso productivo midiendo la variabilidad existente a través de datos cuantitativos. Este proceso de análisis estadístico descriptivo permite por medio de gráficos de control (IM-R) y medidas de capacidad de proceso (Cp, CpK), analizar las variaciones entre los parámetros de calidad críticos, para finalmente, describir su comportamiento dentro del proceso.
	Esto permitirá identificar tendencias, patrones sistemáticos y desempeño respecto a límites, que permitan entender mejor las características del proceso tal como ocurre rutinariamente.

### Procedimiento de recolección de datos

Para llevar a cabo la recolección de datos y transformación en información, se implementaron una serie de materiales y/o herramientas-dispositivos que permitieran la consolidación de los hallazgos. En este sentido, para el desarrollo del proceso se utilizó un molino de mezclas que permite el análisis de las muestras, un viscosímetro Mooney y una computadora para la redacción y la evaluación de las muestras con el software estadístico Minitab 18. A continuación, se relacionan dichas herramientas.

**Figura 2.** Procedimiento de recolección de datos – herramientas implementadas



En la Figura 2 se puede evidenciar a la izquierda el molino de mezclas, en la esquina derecha el software Minitab 18 y en las dos imágenes centrales, el viscosímetro Mooney.

Esta recolección de datos permitió tomar 52 muestras aleatorias del proceso de producción de Hule granulado HEM-20 durante un periodo determinado de tiempo. Estas fueron posteriormente evaluadas una a una en el equipo de medición de viscosidad Mooney, teniendo presente el estándar ASTM D1646. Seguido a ello, se midieron los valores de viscosidad Mooney en unidades ML 1+4 para cada muestra. Finalmente, estos datos se recopilaron en bases de datos para su posterior procesamiento y análisis.

### Procesamiento de datos

En la solución de este problema se utilizó la estadística descriptiva aplicada en el control estadístico de procesos, como primer punto la herramienta carta de control I-MR, donde la Figura 3 permite monitorear los cambios en la media y la MR en el rango/amplitud. Asimismo, se evaluaron medidas de capacidad de proceso (Cp y CpK) para determinar la capacidad de cumplimiento real de especificaciones. Finalmente, los gráficos fueron complementados con análisis de tendencias, patrones y desempeño en función de los límites de control.

### Viscosidad de Mooney

Es el dato medido de viscosidad de un caucho o compuesto que se determina haciendo uso de un viscosímetro de disco bajo la Norma ASTM D1646. A continuación, se relacionan las especificaciones de la viscosidad.

Figura 3. Especificaciones de la viscosidad

ESPECIFICACION VISCOSIDAD (MUESTRA FINAL)		
N°. PACA	COLOR	RANGO VISC.UM
	BAJA	65-70
15		70-75
		75-80
		80-85

Fuente: Elaboración propia

### Diseño estadístico de medición

Se diseña el instrumento de control estadístico de procesos con el objetivo de hallar los puntos de criticidad en las pruebas físicas del hule natural (HEM-20) desarrollando la carta de control (I-MR) para variables que “se aplica a características de calidad de tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que requieren un instrumento de medición (peso, volúmenes, voltajes, longitudes, resistencia, temperatura, humedad, viscosidad Mooney, etcétera)” (Gutiérrez, 2014, p. 239). Es por lo anterior que, el diseño se propuso teniendo en cuenta los datos brindados por las diversas bases de datos del reporte de viscosidad Mooney para el control estadístico de procesos.

### Muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio simple para la evaluación diagnóstica del control estadístico de procesos en la empresa; se extrajeron del proceso de producción 52 muestras de hule granulado durante una jornada de trabajo, para obtener la viscosidad Mooney de cada una de ellas presentadas a continuación.



**Tabla 2.** Muestras del estudio de pruebas físicas – Viscosidad de Mooney

<b>MUESTRA</b>	<b>N°. PACA</b>	<b>VISCOSIDAD MOONEY</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>N°. PLACA</b>	<b>VISCOSIDAD MOONEY</b>
<b>1</b>	555	63,58	<b>27</b>	285	85,04
<b>2</b>	570	81,31	<b>28</b>	300	89,03
<b>3</b>	585	89,35	<b>29</b>	315	88
<b>4</b>	600	93,78	<b>30</b>	330	85
<b>5</b>	516	91,36	<b>31</b>	345	74,58
<b>6</b>	630	92,64	<b>32</b>	360	49,89
<b>7</b>	645	94,25	<b>33</b>	375	68,99
<b>8</b>	660	90,43	<b>34</b>	390	72,46
<b>9</b>	15	71,88	<b>35</b>	405	75,2
<b>10</b>	30	74,83	<b>36</b>	420	83,96
<b>11</b>	45	78,45	<b>37</b>	435	69,79
<b>12</b>	60	64,85	<b>38</b>	450	75,47
<b>13</b>	75	67,99	<b>39</b>	465	67,52
<b>14</b>	90	44,42	<b>40</b>	480	77,63
<b>15</b>	105	68,16	<b>41</b>	495	55,6
<b>16</b>	120	83,89	<b>42</b>	510	70,9
<b>17</b>	135	72,06	<b>43</b>	525	70,59
<b>18</b>	150	81,97	<b>44</b>	540	62,2
<b>19</b>	165	70,6	<b>45</b>	555	44,1

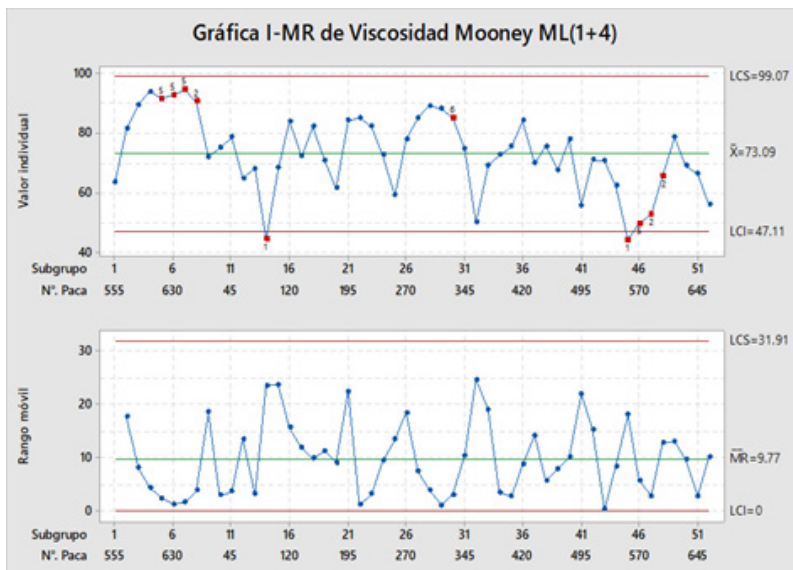
Inicialmente, se procede con el molino de mezclas a la homogeneización de la muestra de hule granulado, para posteriormente colocarla en el viscosímetro Mooney ML (1+4), donde 1 + 4 indica 1 minuto de calentamiento por 4 minutos de prueba, el cual consiste pasar por un rotor encerrado en una cámara conteniendo el caucho y calentar a una temperatura de 100°C a una velocidad constante de  $2 \pm 0,2$  rpm. Para determinar el porcentaje de éxito la consistencia o viscosidad Mooney en general debe situarse en un rango de entre 65 y 85 puntos Mooney de acuerdo con la Norma ASTM D1646 (Sáenz, et al., 2018).

Se implementó la carta de control I-MR estadístico, se midió y se calculó la media de todas las muestras de hule granulado y de la misma manera, se obtuvo el rango móvil MR para registrarlo en la gráfica correspondiente.

## Hallazgos

Como primer acercamiento se analizaron las muestras levantadas en la tabla anterior (muestreo), a través del software Minitab 18, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 4. Valores de las muestras en las pruebas físicas. (Viscosidad Mooney)



Fuente: Elaboración propia

**Prueba 1.** Cualquier punto fuera de los límites de control.

**Hallazgo:** La prueba falló en los puntos o muestras: 14, 45.

**Prueba 2.** 7 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central.

**Hallazgo:** La prueba falló en los puntos: 8, 47, 48.

**Prueba 5.** 2 de 3 puntos en la misma zona C o más lejos.

**Hallazgo:** La prueba falló en los puntos: 5, 6, 7, 46.

**Prueba 6.** 4 de 5 puntos en la misma zona B o más lejos.

**Hallazgo:** La prueba falló en los puntos: 30.

Los resultados mediante el análisis del software estadístico Minitab 18, indican que el proceso de producción del hule natural grado 20, presenta las reglas 1, 2, 5, y 6 del Doctor Lloyd S. Nelson, indicando que se está presentando variabilidad especial que afecta al proceso, y por lo tanto, es inestable con respecto a la viscosidad Mooney, como se muestra en las siguientes figuras, en donde se agregan los límites de especificación entre 65 y 85 (ver figuras 5 y 6), y se puede observar que los límites de control superior e inferior del proceso son valores más grandes que las especificaciones, cuando por regla general los límites de control superior e inferior son medidas preventivas para el control del proceso, es por ello que, se puede reafirmar que el proceso de hule granulado HEM-20, no es estable, y por ende, no es recomendable realizar el análisis de capacidad real a largo plazo hasta que se establezca el proceso.

Figura 5. Muestras de Hule Granulado en las pruebas físicas

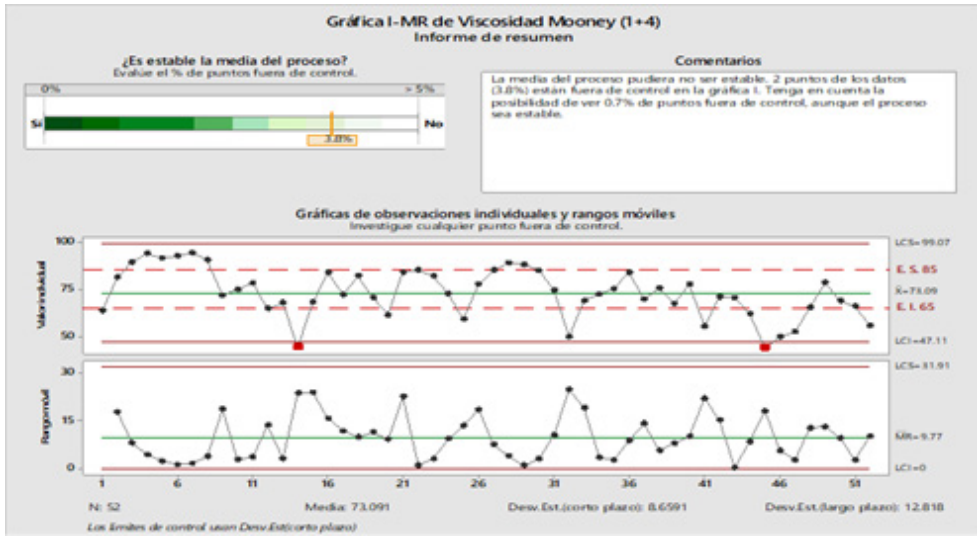
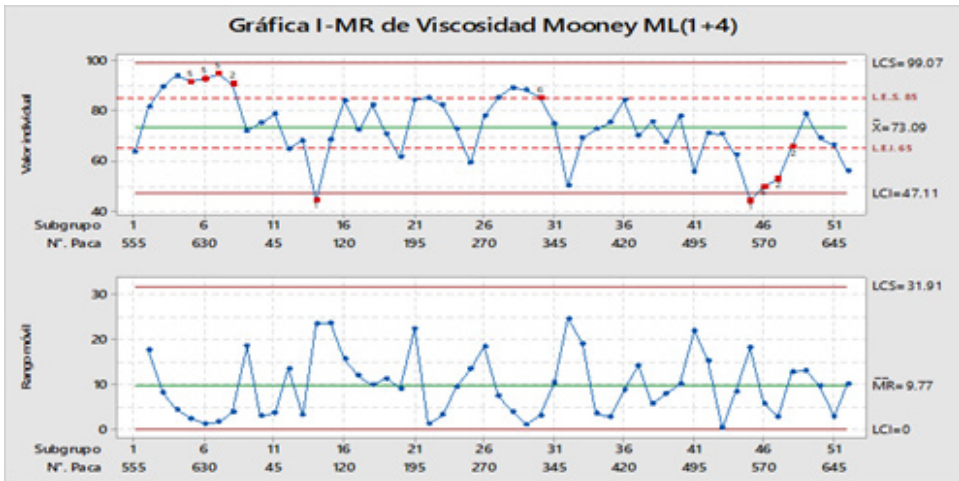


Figura 6. Comparativa de límites de control vs límites de especificación



Aún cuando no se recomienda hacer un estudio de capacidad real a largo plazo, como consecuencia de la inestabilidad del proceso, se procede a realizar una validación de dicha sugerencia por medio de un capability sixpack. Motivo por el cual, el primer paso para dicha actividad se relaciona con el graficado de la prueba de normalidad de las muestras obtenidas, para ello, se debe emplear el siguiente cálculo estadístico para determinar el desempeño potencial.

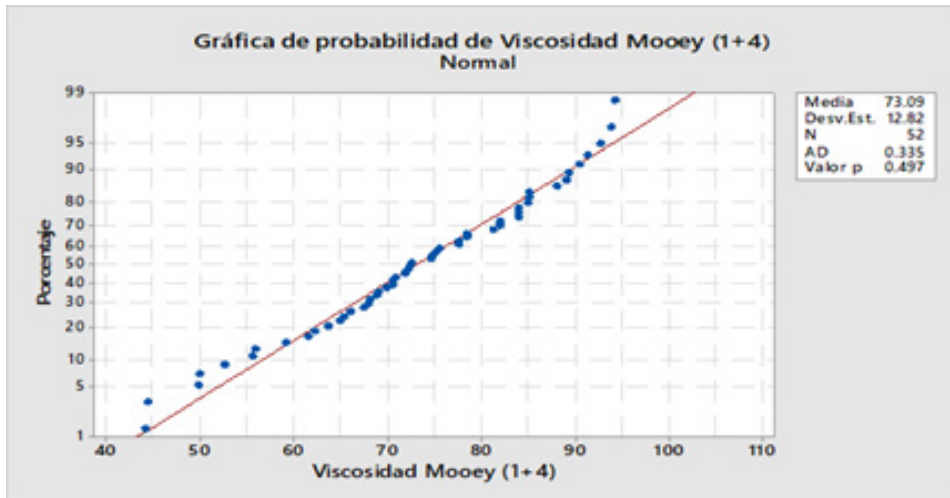
$$P = \frac{LES - LEI}{3\sigma_L} \rightarrow \frac{85 - 65}{3(12,818)}$$

$$P \approx 0,51$$

Donde,  
P = Desempeño potencial  
LES = Límite superior  
LEI = Límite inferior  
 $\sigma_L$  = Desviación estándar

Como se evidencia y teniendo como punto de partida el valor P, donde este es mayor que 0,05, se concluye que la muestras tienen normalidad (ver Figura 7).

**Figura 7.** Prueba de normalidad



De acuerdo con la comprobación de que los datos son normales, se procede a presentar el estudio de la capacidad de proceso en la Figura 8. Para lo cual, se requiere calcular la Capacidad real del proceso a largo plazo [Ppk], para ello, primero se debe hallar el valor de Ppi y Pps, relacionados a continuación:

$$Ppi = \frac{\mu - LEI}{3\sigma_L} \rightarrow \frac{73,09 - 65}{3(12,818)}$$

$$Ppi = 0,21$$

Donde,  
 $\mu$  = Media  
LEI = Límite inferior  
 $\sigma_L$  = Desviación estándar  
Posteriormente, se procede a determinar el Pps para determinar el Ppk.

$$Pps = \frac{LES - \mu}{3\sigma_L} \rightarrow \frac{85 - 73,09}{3(12,818)}$$

$$Ppi = 0,31$$

Donde,  
 $\mu$  = Media  
LES = Límite superior  
 $\sigma_L$  = Desviación estándar

$$Ppk = \min(Ppi, Pps) \rightarrow \min(0,21; 0,31)$$

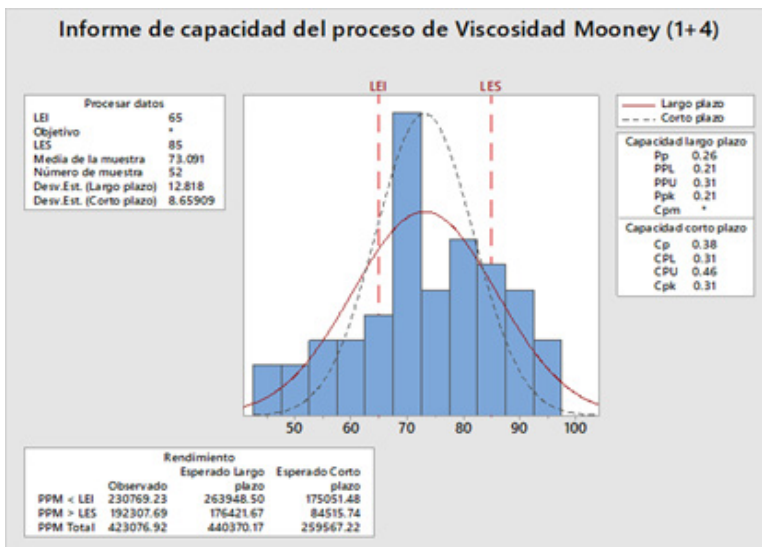
$$Ppk = 0,21$$

Donde,

Ppk = Capacidad real del proceso

De acuerdo a la interpretación de la información, la métrica de Ppk es de 0,21, siendo esta la capacidad real a largo plazo, menor a 1,67, motivo por el cual, para este caso se le indicaría al cliente que si el enfoque fuera la industria automotriz, hay un causal grande de cantidad rechazada como consecuencia a lo reflejado en los PPM del proceso observado de la muestra, por lo cual, se puede mencionar que el proceso no es capaz de producir hule granulado HEM-20, teniendo entonces la necesidad de implementar herramientas de calidad como áreas de oportunidad para mejorar el proceso.

Figura 8. Análisis de capacidad



## RESULTADOS

Con respecto a análisis descriptivo de la variabilidad, se encontró que al graficar el comportamiento de los valores de viscosidad Mooney (Figura 4) de las 52 muestras analizadas, se identifica una alta variabilidad del proceso productivo, con lecturas que van desde 44,1 hasta 94,25 unidades ML 1+4, estando por fuera del rango esperado de 65-85 unidades según las especificaciones técnicas. Se evidencian múltiples puntos por fuera de los límites de control establecidos estadísticamente en las gráficas I y MR, incumpliendo las reglas de variabilidad normal esgrimidas por el Dr. Nelson. Esto indica claramente la presencia de causas especiales de variación no aleatorias ni inherentes al proceso, que están ocasionando esta inestabilidad.

Por otro lado, en función de las medidas de capacidad de proceso, se determinó que las medidas de capacidad Pp y Ppk fueron de 0,50 y 0,21, significativamente por debajo del valor mínimo objetivo de 1,67 establecido para procesos con variabilidad solo por causas comunes. Esto también refleja la presencia de fuentes especiales de variación en el proceso.

Claramente se requiere de ajustes en el proceso productivo para controlar las causas fuera de rango que están introduciendo una variabilidad más allá de los límites permisibles de operación. De acuerdo con lo anterior, se procede a relacionar las causas identificadas dentro del procedimiento a través de un diagrama Ishikawa que se presenta a continuación.

Figura 9. Diagrama de Ishikawa - materia prima contaminada

## Diagrama de ishikawa



Una vez que el látex fresco en su forma líquida es coagulado y recolectado en esta forma, se aplana y se deja secar durante un par de días para dar paso al hule natural que será la materia prima del proceso de hule granulado HEM-20.

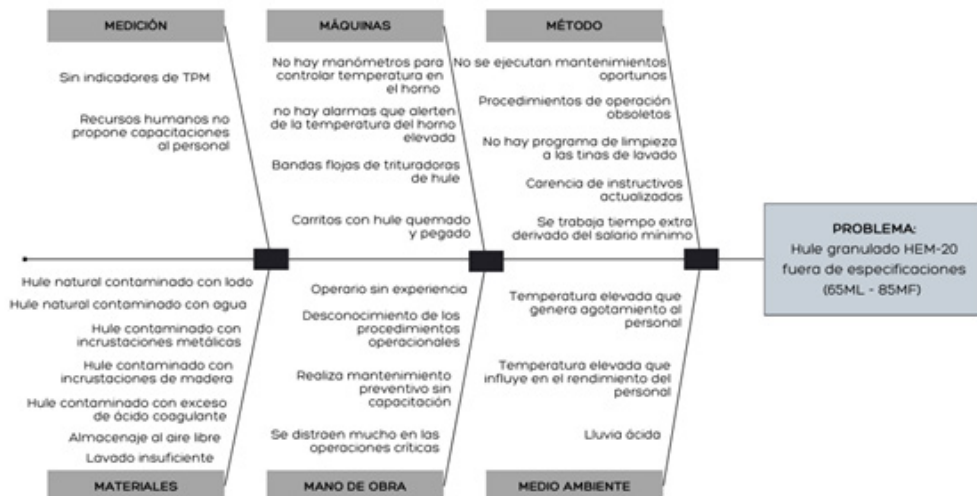
En relación con la materia prima contaminada o hule natural contaminado, se presenta en el análisis con el diagrama de Ishikawa o 6M distintas causas que afectan a la calidad del proceso, siendo la causa raíz, el manejo inadecuado de la materia prima, lo que ocasiona que se contamine y afecte en el proceso de hule granulado, ya que se encuentran objetos incrustados, así como puntos crudos que repercuten en las causas de rechazo por el cliente. De igual modo, se está obteniendo hule natural con mucha absorción de agua ácida lo que genera de igual forma contaminación.

Por consiguiente, se puede seguir contaminando la materia prima en la forma de almacenaje y manejo dentro del proceso de producción del hule granulado HEM-20, afectando la calidad de la viscosidad Mooney. Para ello, se realiza un diagrama de Ishikawa en el área de proceso del hule granulado para conocer los factores que afectan y ocasionan el no cumplimiento al cliente con el producto, partiendo de las especificaciones de viscosidad Mooney de 65 ML a 85 MF. A continuación, se proyectó el diagrama de Ishikawa enfocado en el área de proceso y transformación del hule granulado HEM-20.

Figura 10. Diagrama de Ishikawa – Hule granulado HEM-20 fuera de especificaciones

## Identificación de problemas

### DIAGRAMA DE ISHIKAWA



84

La etapa inicial del proceso de hule granulado HEM-20 inicia con un triturado y lavado en tinas con el fin de disminuir su tamaño, hasta ser transformado en tiras pequeñas permitiendo que en los carros se distribuya de tal manera que, en el área de secado con el horno pueda deshidratarse homogéneamente para después pesarse y empacarse en pacas de 35 Kg, cumpliendo con los requerimientos del cliente.

En este sentido, a través del diagrama de Ishikawa de hule granulado fuera de especificaciones, se puede conocer cuáles son los factores que influyen de manera significativa para la característica crítica de calidad, donde se evidencia que no se está cumpliendo con el propósito, ocasionando que el cliente reclame y regrese parte de la producción de pacas que se le envían. En afinidad con ello, se determinó que la causa raíz más importante se relaciona con el horno como consecuencia de no controlar la temperatura, generando que el hule en la superficie se queme, en la parte interna presente pizcas de hule natural derivado de que no se deshidrata adecuadamente, asimismo, también influye la contaminación del hule natural que, a pesar de tener varias etapas de lavado, no se realiza de manera oportuna repercutiendo en la calidad del secado. Por último, el personal, porque al ser una actividad que genera demasiado desgaste en una jornada de 8 horas y aunado a los tres turnos que presentan, se encontró que en un punto del proceso el colaborador descuida las actividades principales, convirtiéndose en un factor crítico e importante, debido a que no limpia constantemente las tinas de lavado, ni regula la temperatura del horno.

Por lo tanto, con base a las causas-raíces es recomendable realizar un diagrama de Pareto para tener tipificadas y ponderadas las causas que están generando el problema, en donde no se está cumpliendo con los límites de especificación, por lo cual, se realiza el levantamiento de la información con la herramienta hoja de verificación, para posteriormente proyectar el diagrama de Pareto.

Figura 11. Hoja de verificación – Tipificación de causas identificadas

HOJA DE VERIFICACIÓN		
Proyecto/Proceso/Situación	Proceso de Hule Granulado HEM-20	
Nombre de observador	JCCH	
Localización	Proceso de producción - Planta beneficio	
Fecha	03/07/2023 - 13/07/2023	
Hoja #	1 de 1	
Evento	Frecuencia	Comentarios
Hule natural con incrustaciones metálicas	2	Al momento de coagularlo no identifican objetos metálicos
Hule natural con incrustaciones de madera	1	
Hule natural contaminado con lodo	10	
Carros transportadores con hule granulado quemado	5	
Tinas de lavado con lodo	9	Cada cierta producción se deben de lavar las tinas, pero por no parar producción se siguen utilizando
Máquinas trituradoras sin mantenimiento	7	Por el atraso de pedidos no se realiza el mantenimiento
Horno con medidores digitales para control de temperatura sin calibración	5	En ocasiones desaparecen las lecturas de los medidores
Hornero fuera de su lugar de trabajo	9	Tiene que estar llevando las muestras al laboratorio
Horno sin mantenimiento preventivo	7	
Temperatura elevada del horno de secado	11	Al no controlar las temperaturas o el descuido del hornero, estas se disparan ocasionando que el hule no se deshidrate de forma homogénea
Hule triturado sin especificaciones para facilitar el secado	5	
Paros de producción por falla de maquinaria / horno	4	
Falla en la distribución de la flama en el horno	8	
<b>Total</b>	<b>83</b>	

Luego de recabar la información en las estaciones de trabajo del proceso de hule granulado, se coloca el evento que se presenta con la cantidad de veces en un período de tiempo aproximado a 8 días, haciendo mención en los comentarios las causas presentadas más a detalle que sirven como referencia para el diagrama de Pareto.



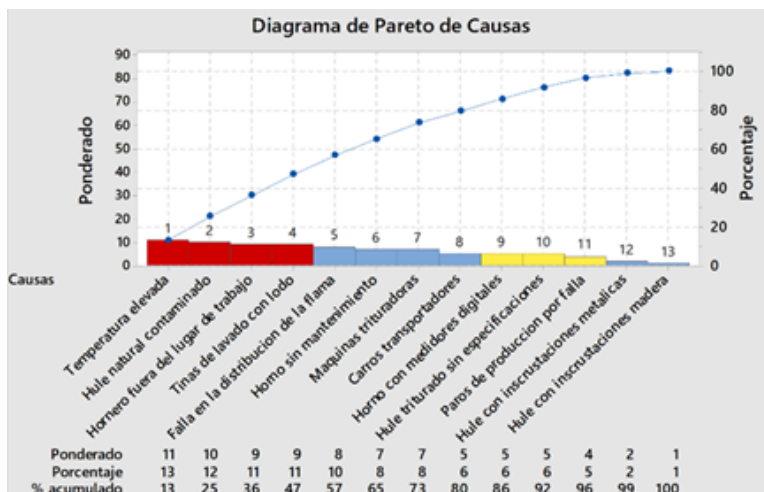
**Tabla 3.** Ponderación de eventos identificados

**TABLA DE FRECUENCIA**

#	Causas	Frecuencia	% Frecuencia	% Frecuencia acumulada
1	Temperatura elevada del horno de secado	11	13,25%	13,25%
2	Hule natural contaminado con lodo	10	12,05%	25,30%
3	Tinas de lavado con lodo	9	10,84%	36,14%
4	Hornero fuera de su lugar de trabajo	9	10,84%	46,98%
5	Falla en la distribución de la flama en el horno	8	9,64%	56,62%
6	Máquinas trituradoras sin mantenimiento	7	8,43%	65,06%
7	Horno sin mantenimiento preventivo	7	8,43%	73,49%
8	Hule triturado sin especificaciones para facilitar el secado	5	6,02%	79,52%
9	Horno con medidores digitales para control de temperatura sin calibración	5	6,02%	85,54%
10	Carros transportadores con hule granulado quemado	5	6,02%	91,56%
11	Paros de producción por falla de maquinaria / horno	4	4,82%	96,38%
12	Hule natural con incrustaciones metálicas	2	2,41%	98,79%
13	Hule natural con incrustaciones de madera	1	1,20%	100,00%
<b>Total</b>		<b>83</b>	<b>100,00%</b>	

Posterior a tener la ponderación de eventos se procede a graficar el Pareto, donde se relaciona el 80-20 (el 80% de los problemas proviene del 20% de las causas). En este sentido, para tomar la decisión de que los problemas críticos son la temperatura elevada del horno, hule natural contaminado con lodo, tinas de lavado con lodo y hornero fuera de su lugar de trabajo, se analiza que se puede estar presentando, porque los medidores digitales no se calibran en tiempo y forma, hay paros no programados por falla de maquinaria y horno y, contaminación por incrustación metálica y de madera en el hule natural. Se concluye que el 80% de los problemas pueden ser generados por el 20% de las causas, motivo por el cual es necesario hacer énfasis en el control del horno y la recepción de la materia prima para cumplir con la viscosidad Mooney de 65ML-85 MF, que el cliente solicita.

Figura 12. Diagrama de Pareto – 80/20 problemas vs causas



## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mediante el análisis del software estadístico Minitab 18, indican que el proceso de producción del hule natural grado 20 HEM-20 es inestable con respecto a la viscosidad Mooney, presentando parámetros con variabilidad especial fuera de los límites de control. Asimismo, se encontró que las causas principales que ocasionan dicho efecto se relacionan con la contaminación de la materia prima, el no control de la temperatura dentro del horno en el proceso productivo por mal calibre en los medidores y finalmente, la poca limpieza dentro de las tinas.

El presente estudio de enfoque cuantitativo-descriptivo permitió caracterizar en detalle la variabilidad inherente en el proceso productivo analizado, como punto de partida para su control estadístico y mejora continua. Mediante el uso de herramientas como cartas I-MR y análisis de capacidad, se identificaron claras oportunidades para reducir la variación fuera de especificaciones técnicas. Se recomienda complementar este análisis descriptivo con estudios explicativos y experimentales enfocados en las causas raíz detectadas, de modo que se posibilite estabilizar el proceso en el largo plazo. Se concluye que el beneficio de la estadística descriptiva para un sistema de control estadístico eficiente genera la competitividad de la empresa con base en el mejoramiento de la calidad y productividad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Conexión Esan.** (2017, 17 de abril). El control estadístico de procesos. Conexión Esan. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-control-estadistico-de-procesos>

**Creighton, S.** (2022, 15 de septiembre). Lloyd Nelson: the man who developed the Special Cause Variation. LifeQI. <https://blog.lifeqisystem.com/lloyd-nelson>

**Gutiérrez, H.** (2014). Calidad y productividad. Editorial McGraw Hill.

**Hernández, F. & Hernández, R.** (2021). El control estadístico de procesos (CEP): una herramienta para la mejora de la calidad. Revista Iberoamericana de Contabilidad de Gestión, 18(37), 1-12.

**Herrera, R. J., Rojas, P. M. & Jiménez, K. P.** (2019). Cartas de control con variables convolucionadas. I+D. Revista de Investigaciones, 13(1), 82-87.

**Herrera, R. J., Wasinski-Zúñiga, R. M. & Romero-Cabrera, I. D.** (2018). Contraste entre las cartas de control MR de Shewhart y Cusum Varianza en el monitoreo del potencial de hidrógeno en protectores de planta. Iteckne, 15(2), 88-98.

**Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).** (2020). Veracruz – Territorio. Información por entidad. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/default.aspx?tema=me&e=30>

**Lazo, R.** (2014). Formulación y evaluación de proyectos productivos forestales de Hevea brasiliensis Mull [tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de la Zona Maya]. Quintana Roo, México.

**Muñoz, L. I. & Cedillo, M. J.** (2015). Optimización del proceso de mezclado en compuestos primarios en base a la estandarización en el analizador de procesamiento de caucho (RPA 2000) en continental tire Andina S.A.S [tesis de pregrado. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador].

**Peralta, N. A.** (2022). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del caucho seco y tiempo de coagulación del látex al implementar vinazas como coagulante. Fundación Universidad de América. Bogotá, Colombia.

**Polanía, J. D.** (2019). Realizar un análisis del control de capacidad de proceso en líneas de producto de la empresa manufacturera-Cali [tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia].

**Polanía, C, Cardona, F, Castañeda, G, Vargas, I, Calvache, O & Abanto, W.** (2020). Metodología de investigación Cuantitativa y Cualitativa. Santiago de Cali, Colombia: UNIAJC.

**Ramos, J. C.** (2017). Modelo de gestión de calidad a través de la mejora continua en la manufacturera de transformadores de distribución y potencia [tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú].

**Restrepo, L. M.** (2018). Cartas de control para optimizar el proceso de pintura de láminas de aluminio. Revista espacios, 39(22), 1-7.

**Rojo, G. E., Martínez, R. & Jasso, J.** (2011). El cultivo del hule en México. Libros técnicos: serie forestal. El fuerte, México: Universidad Autónoma Indígena de México.

**Salazar, E. R. & Fermín, J. S.** (2016). Un índice de capacidad de procesos para distribuciones multivariadas normales de variables correlacionadas y no correlacionadas. Ingeniería industrial, 34, 57-73.

**Sáenz, S., Barajas, J. C., Zalazar, R. & Cruz, F.** (noviembre de 2018). Control estadístico de la calidad para el mejoramiento en el proceso de hule granulado 20 HEM. En Dr. David Reyes González (responsable), Congreso llevado a cabo en el IV año, número I Congreso Interdisciplinario de Ingenierías, Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Veracruz, México.

**Sucasaire, J. P.** (2021). Estadística descriptiva para trabajos de investigación. Jorge Sucasaire Pilco.



**Tapia, L. D., Novelo, J. M., Alonso, Y. V. & Gutiérrez, M.** (2021). Control estadístico de procesos aplicado en una empresa de marroquinería. *Innovación y desarrollo tecnológico*, 12 (4), 521-531.

**Zayas, I.** (2022). La mejora continua: elemento de competitividad empresarial. *Revista electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de investigación*, 9(17), 1-19.