

# Implementación de mejoras en el proceso de pruebas de limpieza de producto automotriz

## Implementation of improvements in the process of cleaning tests of an automotive product

<sup>a</sup>Karina Ivette Lozano-Huizar, <sup>b</sup>Luis Alberto Rodríguez-Picón, <sup>c</sup>Luis Carlos Méndez-González, <sup>d</sup>Iván Juan Carlos Pérez-Olguín

-  a Ingeniera Industrial, al150213@alumnos.uacj.mx, Universidad Autónoma Ciudad de Juárez, Ciudad de Juárez, México
-  b Doctor en Ciencia e Ingeniería, luis.picon@uacj.mx, Universidad Autónoma Ciudad de Juárez, Ciudad de Juárez, México
-  c Doctor en Ciencias e Ingeniería, luis.mendez@uacj.mx, Universidad Autónoma Ciudad de Juárez, Ciudad de Juárez, México
-  d Doctorado en Ciencias e Ingeniería, ivan.perez@uacj.mx, Universidad Autónoma Ciudad de Juárez, Ciudad de Juárez, México

**Recibido:** Julio 14 de 2019 **Aceptado:** Noviembre 11 de 2019

**Forma de citar:** K.I. Lozano-Huizar, L.A. Rodríguez-Picón, L.C. Méndez-González y I.J.C. Pérez-Olguín, "Implementación de mejoras en el proceso de pruebas de limpieza de producto de la industria automotriz", *Mundo Fesc*, vol. 10, no. 19, pp. 7-19, 2020.

### Resumen

---

El producto bajo estudio en el presente artículo es un arnés automotriz cuya condición crítica de calidad está dada por la limpieza interna de sus componentes, dado que esto permite garantizar el buen funcionamiento del mismo. La limpieza se lleva cabo al hacer fluir en las mangueras y tubos un solvente líquido de baja viscosidad, con la intención de retirar aceite, grasa y todas las partículas de contaminación. Estas partículas quedan incrustadas en una membrana al final del proceso de limpieza, esta membrana se somete a un estudio granulométrico para determinar si la contaminación del arnés está por debajo de los criterios del cliente. Las condiciones actuales del proceso de limpieza indican que existen problemas de calidad, aunque estos problemas se deben a diferentes circunstancias que en el presente artículo se analizan mediante diferentes herramientas. En el análisis realizado se encontró que el solvente utilizado está contaminado y no se tiene un plan de reemplazo, de igual manera tanto el equipo de limpieza como de medición requirieron ajustes para mejorar el desempeño de la calidad del producto.

**Palabras clave:** Contaminación de partículas, Granulometría, Gravimetría, Líquido Metalnox, Membranas, Partículas.

---

**Autor para correspondencia:**

\*Correo electrónico: al150213@alumnos.uacj.mx



## Abstract

---

The product under study in the present article is an automotive harness whose critical quality condition is given in the intern cleaning of its components; this indeed is a critical process activity because it enables the right functionality of the product. The cleaning process is carried out by injecting a liquid solvent into the tubes and hoses of the harness, this liquid has the function of eliminate oil, grease, and any other contaminant particle from the interior of the harness. As the liquid is injected by pressure, the particles end incrustated in a membrane at the end of the cleaning process. This membrane is subjected to a particle size study to determine if the harness contamination is under the customer criteria. The current conditions of the cleaning process indicate that there are various quality problems due to different circumstances. In this paper, all of these circumstances are analyzed by using different engineering tools. In the performed analyses it was found that the liquid solvent used in the cleaning process is contaminated and there is no implemented plan for replacement. Furthermore, the equipment used in the cleaning process requires adjustments to improve its performance, which would enable to improve the quality of the product.

**Keywords:** Particle contamination, particle size study, gravimetry, Metalnox liquid, membrane, particles.

## Introducción

La industria automotriz ha sido uno de los sectores más eficientes y productivos, como resultado de las técnicas de gestión de calidad [1], adoptando un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la eficacia de un sistema para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos, la necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor, la obtención de resultados del desempeño y eficacia del proceso, y la mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas. Como se demuestra en [2], se debe de asegurar de implementar normas o especificaciones basadas en los clientes correctamente con el fin de mantener un registro sobre las mejoras que se lleguen a realizar en los procesos, ya que al aplicar la calidad tiene que ser notable, no solo para ser competitiva con otras empresas sino, que también puede ser eficaz y cumplir con la necesidad del cliente. Como se demuestra en [2]. Es por eso que se debe de establecer, documentar, implementar y mejorar continuamente [3] para poder determinar los procesos necesarios para llevar a cabo una buena aplicación en ellos y poder determinar los criterios y métodos

necesarios para asegurar la disponibilidad de recursos y de la información necesaria para dar seguimiento a los procesos e implementar acciones necesarias para alcanzar los resultados planeados de las mejoras continuas en los procesos. Tal como se demuestra en [4].

Es por eso que algunas empresas optan por implementar a sus procesos pruebas de limpieza a algunos modelos que sean críticos más que requisito por algunos clientes es buscar siempre la calidad y la satisfacción de demostrarle al cliente que las empresas cuentan con los métodos y procesos necesarios para cumplir con sus especificaciones sobre sus productos de alta calidad. Como se demuestra en [5]. En la industria automotriz el control de la calidad de los productos es una cuestión crítica, sobre todo el aspecto de limpieza, un ejemplo de esto radica en la limpieza de arneses ya que estos pueden transportar partículas a áreas que son sensibles de un sistema que pueda generar algún daño al vehículo y en dado caso ocasionar algún accidente. A partir de esto surge la necesidad de identificar el factor o factores que pudiera estar teniendo mayor

peso en los resultados de los análisis de las pruebas que son necesarias para comprobar el buen funcionamiento de los arneses [6].

Generalmente no se puede acceder a las superficies internas de un arnés, por lo que no es posible hacer una inspección visual de manera directa, ya sea por su composición o rugosidad. Por otra parte, muchas superficies no son adecuadas para las inspecciones visuales. Por esto es que se opta por hacer pruebas de limpieza basadas en fluidos que son inyectados a presión. Tal como se demuestra en [7].

El presente artículo se basa en la norma internacional ISO 16232:2018 que es la norma que rige la industria automotriz para realizar limpiezas de componentes para vehículos de carretera, con el fin de detectar partículas que ocasionen algún daño a los vehículos o al proceso de ensamble ya que exige obtener una información detallada acerca de las características de las partículas ya sea por su clasificación o tamaño. Esto se logra inyectando un líquido en el interior del arnés lo que permite capturar partículas en membranas localizadas en el otro extremo del arnés. Precisamente, estas membranas son estudiadas mediante el análisis de gravimetría y granulometría para revisar la calidad de limpieza del arnés. Mas información sobre este proceso puede ser encontrada en [8-13]. Por lo que este artículo consiste en la aplicación de diferentes herramientas para poder mejorar el proceso y estándar de limpieza que lleva a cabo la empresa bajo estudio.

### Materiales y métodos

En esta sección se muestra y discute el procedimiento que se utiliza para llevar a cabo las pruebas de limpieza correctamente. El método se realiza siguiendo la secuencia de los siguientes pasos que se describen a continuación:

**Paso 1.** Determinar el volumen del arnés el cual será expuesto al líquido metalnox. El cálculo se lleva cabo considerando la forma cilíndrica del arnés por lo que la fórmula a usar es:

$$\text{Volumen del cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (1)$$

El material importante utilizado en este paso de la metodología es el líquido solvente metalnox utilizado para la limpieza y que se usa de manera estándar en la empresa para procesos de limpieza de componentes de arneses.

**Paso 2.** Definir el método más adecuado con el cual se realizará el lavado interno al arnés de tal forma que permita una mejor extracción de partículas de contaminación. Por supuesto la determinación del método esta basada en las indicaciones de la norma ISO 16232:2018, de manera que se determinaron parámetros de funcionamiento del equipo que estará inyectado la cantidad de metalnox en el interior de los componentes del arnés.

**Paso 3.** Se implementa la curva Decay suministrando líquido metalnox varias veces para determinar una extracción adecuada y así comprobar que las partículas se desprendan casi por completo. El procedimiento de la curva Decay es un procedimiento estándar en la empresa y tiene la finalidad de determinar la cantidad necesaria de líquido solvente que se tiene que suministrar en el arnés de manera que permita asegurar la limpieza correcta de los componentes.

**Paso 4.** Una vez realizado lo anterior se procede a hacer la prueba de limpieza en la cual las partículas quedarán incrustadas en una membrana. Considerando los pasos 1-3, en donde se han determinado los parámetros de funcionamiento del equipo de inyección y la cantidad a suministrar del líquido

solvente. La prueba consiste en inyectar en un extremo del arnés el líquido solvente y de manera que en el otro extremo se localiza una membrana que tiene la función de capturar las partículas que se encuentran en el interior del arnés y son expulsadas por el solvente.

**Paso 5.** Para realizar el análisis se programa el criterio de aceptación el cual indica el tamaño de las partículas a analizar (metálicas, no metálicas y fibras metálicas). Por supuesto los criterios son determinados por el cliente, y consisten en características de las partículas que pudieran ocasionar una falla en el arnés, tales como tamaño y composición de las partículas.

**Paso 6.** Realizar un análisis de las membranas mediante un estudio de gravimetría por volatilización considerando un proceso determinado para dar tratamiento a las membranas de manera que las partículas capturadas sean visibles.

**Paso 7.** El siguiente estudio para realizar es un análisis de granulometría. Este estudio se realiza mediante un microscopio el cual captura información que es procesada por un software especializado. Un parámetro importante para determinar es el umbral de análisis del microscopio, el cual permite asegurar se haya abarcado toda la partícula al momento de haber realizado el análisis y la haya detectado completa.

**Paso 8.** Se analiza si realmente pasa o no pasa el arnés dependiendo de los resultados obtenidos de las partículas mediante la granulometría.

Este método fue analizado paso a paso considerando el procedimiento que se lleva actualmente en una industria en el proceso de limpiezas de un arnés automotriz. Por lo que se requieren realizar adecuaciones apropiadas con la finalidad de ajustar el proceso al método actual al propuesto anteriormente para mejorar la calidad del producto.

## Resultados

A continuación, se presentan y discuten la aplicación de los pasos antes mencionados en el caso de estudio.

**Paso 1:** Se calcula el volumen del arnés, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen del cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

En donde:

r = Radio interno del tubo y de la manguera.

h = Es la longitud la cual sacamos mediante el plano del arnés

Teniendo en cuenta esto, se procedió a realizar el cálculo, con los datos obtenidos que se muestran en la Tabla I:

**Tabla I.** Dimensiones obtenidas de los componentes del arnés bajo estudio.

	Radio Interno	Longitud
Manguera	7	344.1 mm
Tubo	6	1356.6 mm

Se procede a realizar las operaciones por separado y al final se suman los resultados, como se muestra a continuación:

$$\text{Volumen Manguera} = \pi \cdot (7)^2 \cdot 344.1 = 52.97 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen Tubo} = \pi \cdot (6)^2 \cdot 1356.6 = 153.43 \text{ cm}^3$$

Y el resultado que se obtuvo para el volumen total del arnés resultó como:

$$\text{Volumen Total} = 206.4 \text{ cm}^3$$

**Paso 2:** El método que se utiliza para realizar el lavado interno del arnés será mediante presión ya que en la norma

internacional ISO 16232:2018 especifica los parámetros adecuados con los cuales se debe exponer el arnés con líquido metalnox para una limpieza correcta. El enjuague a presión describe la aplicación localizada del líquido de prueba al arnés a través de un chorro. Mas información sobre este proceso puede ser consultada en [14].

El efecto de limpieza se debe principalmente al impulso transferido por el chorro al impactar la superficie a mojar del arnés, a medida que el líquido sale del componente. En la tabla II se muestran los parámetros para generar una máxima eficacia de limpieza de los componentes:

**Tabla II.** Parámetros para una extracción eficaz de partículas.

Parámetros	
Forma de la boquilla	Redonda
Diámetro de la boquilla	2.5 mm
Flujo del caudal	1.5 l/min
Distancia del componente	Max. 15 cm
Volumen de enjuague a presión/superficie controlada	5 ml/cm <sup>2</sup>

**Paso 3:** Se calcula la cantidad de mililitros que se van a suministrar para realizar la extracción de partículas. Este proceso se realiza considerando la Curva Decay (curva de calibración) [15], el cual es un análisis de la limpieza que debe comprobar que las partículas se desprendan casi por completo durante la extracción.

De manera inicial se determina el punto en el cual el resultado de la última extracción es igual o menor al 10% de la suma de los resultados de las extracciones realizadas hasta ese momento [16].

Una vez alcanzado el 10 % la superficie a mojar se determina la cantidad total de partículas de la extracción en (2)

:

$$C_n \leq 0,1 \sum_{i=1}^n C_i \quad (n \leq 6) \quad (2)$$

en donde:

$C_n$  = Total de partículas de la extracción.

$C_i$  = Total de partículas acumuladas de las extracciones.

$n$  = Numero de extracción.

El procedimiento se realiza suministrando líquido metalnox con la cantidad del volumen del arnés multiplicado por 5 ya que es un parámetro que indica la norma internacional ISO 16232:2018. Para empezar a realizar las extracciones, considerando la información que se muestra en la tabla 2, cada extracción se realiza con diferentes membranas, esto es para que se note la disminución de partículas.

La cantidad a suministrar de líquido metalnox es de 1032 ml a través de un caudal a una velocidad de 2.3 l/min y una presión de 4 bares, con la cual se realizan las 6 extracciones y se debe garantizar que todo el arnés quede expuesto al metalnox.

Considerando los parámetros antes mencionados se realizó un análisis a seis arneses. Al realizar las 6 extracciones se obtuvo como resultado las siguientes membranas con partículas como se muestra en la figura 1.

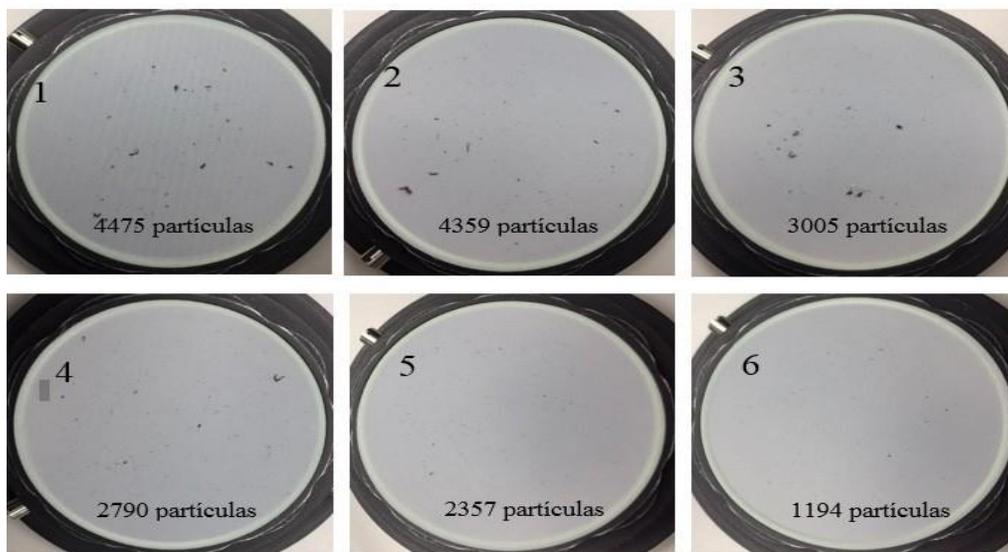


Figura 1. Partículas obtenidas considerando los parámetros determinados en seis arneses

Teniendo estos resultados se sumaron las partículas obtenidas en cada una de las membranas de la siguiente manera:

$$4475+4359+3005+2790+2357+1194 \\ =18180 \text{ partículas.}$$

Lo cual da como resultado 18180 partículas, siguiendo el procedimiento antes planteado de esta cantidad se obtiene el 10%:

$$18180 \cdot 10\% = 1810$$

Teniendo en cuenta el valor obtenido, se puede notar que la extracción 6 que se muestra en la figura 1 es la que más se acerca al 10% que se obtuvo en el paso anterior. De esta manera se multiplica el volumen inicial que es de 1032 por n-1 lo cual resulta en 5160 ml,

como se muestra a continuación:

$$1032 \text{ ml} \cdot (n-1) \\ 1032 \text{ ml} \cdot (6-1) = 5160 \text{ ml}$$

De esta manera se determina que cada pieza será lavada con 5160 ml de líquido metalnox, con esta cantidad se garantiza una limpieza correcta lo cual significa que el arnés que será sujeto al proceso de limpieza quedará libre de partículas contaminantes.

**Paso 4:** Para realizar la gravimetría primero se tiene que pesar la membrana sin contaminación y pasar a un horneado de 30 min a 100°C, una vez completado el tiempo se procede a pesar nuevamente la membrana horneada y se procede a realizar la limpieza interna del arnés. Al terminar

de hacer la prueba de limpieza la membrana con contaminación se vuelve a pasar por el horneado esto es para quitar toda la humedad adquirida por el líquido metalnox por 30 minutos a 100°C nuevamente. Una vez transcurrido el tiempo la membrana se pasa un proceso de vacío por 30 minutos. Después del tiempo la membrana es pesada para obtener el peso final y realizar una resta entre el peso horneado antes de ser usada con el peso final con las partículas de contaminación. Por último, se realiza el análisis granulométrico para obtener un reporte si pasa o no pasa el arnés dependiendo del tamaño de las partículas y si cumple con los criterios de aceptación del cliente.

**Paso 5:** Los criterios de aceptación del cliente deben ser definidos de acuerdo

con las especificaciones de la norma internacional ISO 16232:2018. El software a utilizar para el análisis granulométrico trae predeterminada la norma y se procede a realizar el estándar conforme a lo que el cliente pide. En este caso, lo que al cliente le interesa es que las partículas no excedan el tamaño de 600  $\mu\text{m}$ , por esta razón las partículas se clasifican en diferentes clases para que el conteo sea desde infinito como mínimo y máximo hasta el criterio.

Los resultados obtenidos hasta el paso 5 fueron implementados de manera estándar en el proceso de limpieza en la industria bajo estudio. Sin embargo, se han encontrado problemas de contaminación en las piezas lo que requiere analizar las posibles causas para determinar mejoras.



Figura 2. Factores de contaminación excesiva en membranas mediante diagrama Ishikawa.

De esta manera se realizó el diagrama de Ishikawa [17, 18] que se muestra en la figura 2. La finalidad fue conocer los posibles factores que estén influyendo en el exceso de contaminación encontrada en las membranas de los arneses de este modelo que se expusieron a las pruebas de limpieza.

Las posibles causas que se muestran en la figura 2 fueron estudiadas por un grupo de especialistas en el proceso de limpieza de la empresa, como resultado del estudio grupal se determinaron cuales causas pueden ser realmente causantes del problema por lo que

se procedió a analizar a detalle solo las causas con mayor contribución al problema. Algunas de las causas que se consideraron como contribuyentes al problema son el líquido contaminado y no cambiar el líquido metalnox de la máquina de limpieza, como se muestra en el componente de Material del diagrama de Ishikawa, ante esto se procedió a analizarlos. Se realizaron pruebas de lavado de paredes en la máquina de limpieza con el fin de detectar si realmente el líquido contiene contaminación por el exceso de uso que se le da, ya que el líquido es reusado en cada ciclo de limpieza de los componentes y solo se le agrega lo que le va faltando en cada ciclo que sea necesario. Sin embargo, las membranas contienen partículas y suciedad la cual están afectando el análisis. Las membranas bajo estudio se pasaron por el proceso de gravimetría como si se fuera a lavar una pieza, se pesaron, se lavó la pared y se hornearon el resultado que dio es que no pasaron por el peso de las partículas y la suciedad.

Se procedió a realizar el análisis granulométrico el cual arrojó un NOK el cual dice que no pasa con los criterios del cliente por el tamaño de las partículas. Ninguno de los dos análisis que se realizaron al líquido pasaron, esto quiere decir que realmente el líquido está contaminado y que la máquina de limpieza no está haciendo su función de filtrar adecuadamente, almacenando las partículas que están causando rechazos en las piezas a analizar.

Para corroborar que realmente el líquido estuviera contaminado se tomó una pequeña muestra de la máquina de limpieza, y en efecto se encontró que contiene partículas contaminantes, las cuales son las que están generando que las piezas sean rechazadas en el análisis granulométrico por el criterio del cliente el cual es estricto tanto en el tamaño como en las partículas metálicas.

Como parte del análisis de esta causa se realizó una prueba de limpieza a dos arneses para comprobar que el líquido es el que está contaminado, al primer arnés se le realizó la limpieza, pero sin realizar el lavado de paredes, para detectar si realmente el líquido es el que está contaminado, en la membrana se pudo observar que no tiene

muchas partículas, el cual dice que no influyó el líquido y que son las partículas obtenidas del arnés.

El segundo arnés de igual forma se le realizó la limpieza, pero en este si se realizó el lavado de paredes, en la membrana se observa partículas de gran tamaño, el cual dice que el líquido no está influyendo, si no que la máquina puede estar almacenando partículas que están afectando el proceso ya que no se le ha dado un mantenimiento desde hace 2 años que la empresa la adquirió, el uso de esta máquina es diariamente en los tres turnos. Al no tener un mantenimiento la máquina presenta oxidación en las paredes internas de la cabina y fugas en las mangueras donde el líquido pasa además que no se están filtrando las partículas tanto del ambiente como del líquido.

Considerando esto, se realizó limpieza en el émbolo de la válvula de aislamiento de la máquina, la cual permite el paso del líquido metalnox hacia la membrana para realizar el proceso de la filtración y las partículas se queden incrustadas en esta. Se encontraron residuos de contaminación las cuales pudieran ser los causantes por el exceso de partículas de gran tamaño que estuvieran afectando el análisis granulométrico.

Como mecanismo de control se implementó que al finalizar cada semana el técnico del último turno se encargue de realizar la limpieza del émbolo, esto para que no almacene contaminación y afecte en las pruebas de granulometría y prevenir que se rechacen lotes de piezas que no estén contaminadas además de no generar piezas defectuosas. Además, se consideró retirar todo el líquido metalnox de la máquina de limpieza para colocar nuevo ya que se había encontrado contaminación, y así prevenir que las membranas salieran con partículas de gran tamaño.

Para estudiar el efecto de otra de las causas definidas en el diagrama de Ishikawa se realizó un estudio de R&R (reproducibilidad y repetibilidad) con 10 membranas con contaminación de partículas de este modelo en específico con el propósito de corroborar y comprobar si realmente el microscopio estuviera fallando y/o estuviera tomando

lecturas diferentes. Para esto se necesitaron a 2 técnicos identificados como Rosita y Christian ambos de diferentes turnos que realizaran estas pruebas de limpieza. El análisis se llevó a cabo considerando dos características encontradas en las membranas, la variable cualitativa pasa o no pasa y la variable del número de partículas detectadas en la membrana. Se consideraron 10 membranas y dos réplicas de análisis. Mas información sobre estudios R&R se puede encontrar en [19, 20, 21].

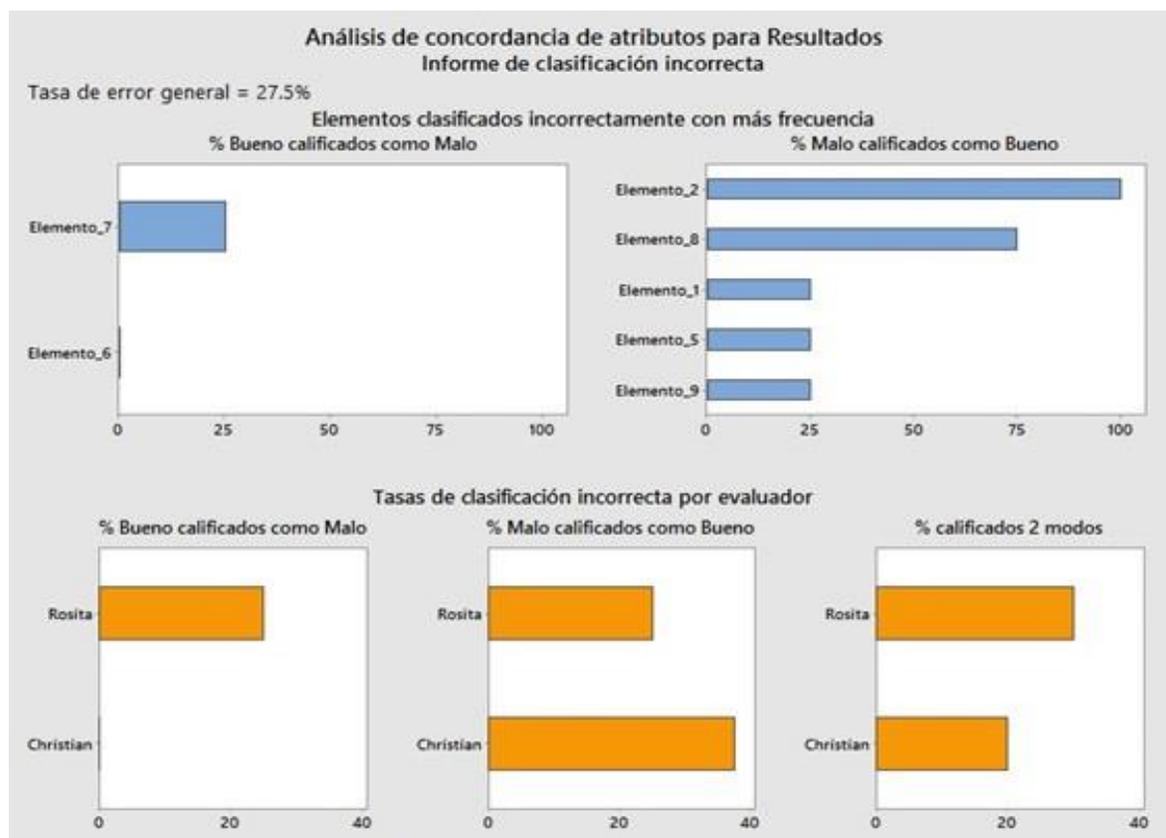


Figura 3. Resultados del análisis de concordancia por atributos mediante el resultado de pasa no pasa.

En la figura 3 se muestran los elementos clasificados incorrectamente, se pudo denotar que el elemento 7 en mayor ocasión se calificó como bueno, cuando en realidad debió de ser analizado como malo el 25% de las veces. Por otra parte, el elemento 2 se calificó como malo el 100% de las veces, cuando debería de haber sido calificado como bueno. Rosita califico como malas membranas buenas el 20% de las veces, mientras que Christian tuvo el mayor porcentaje de membranas malas calificadas como buenas con aproximadamente el 40%.

Como resultado del análisis R&R se obtuvo el análisis de concordancia el cual determino un 72.5% de exactitud lo cual es relativamente bueno, pero no tanto. Se puede mejorar en el

siguiente estudio, implementando un mejor sistema de medición para que los resultados sean más exactos al realizar el análisis de granulometría.

Por otra parte, se realizó otro estudio a las mediciones para saber cuántas partículas se obtuvieron al hacer el análisis con los parámetros que ponían los dos técnicos. Se consideraron las mismas condiciones de la prueba, 10 membranas y dos réplicas del estudio. En la gráfica de rangos de repetición, se pudo observar una medición anormal por parte de Rosita. Y en la reproducibilidad tiene más variación que Christian por ese valor que salió anormal.

En el resultado del rendimiento del proceso la

variación que se debe al sistema de medición es de un 93.3% el cual dice que el sistema no es bueno ya que el método de evaluación no se llevó a cabo de la mejor manera.

Como parte del análisis inicial, también se realizó un estudio para conocer la linealidad y el sesgo de los resultados que se obtuvieron [22, 23]. Se pudo denotar que hay significancia en la pendiente, por lo que se puede considerar que existe linealidad, pero al igual hay sesgo significativo en cinco de los datos ya que los respectivos valores-p

que se obtuvieron son menores que un nivel de significancia de 0.05. Por último, se obtuvo un coeficiente de determinación de 69.9%, el cual se refiere que en lo que cabe es relativamente bueno.

Con los resultados obtenidos en los estudios de R&R que se mencionan anteriormente, también se pudo observar que al realizar los dos técnicos el análisis de las 10 membranas con partículas de contaminación, ambos realizan muy distinto el análisis, dado que consideran diferentes parámetros de medición para el análisis granulométrico, tal como se muestra en la figura 3:

### Técnico 1

Exposición: 13.98%

Umbral: 6%

Exposición: 7.63%

Umbral: 2%

Exposición: 5.77%

Umbral: 1%

### Técnico 2

Exposición: 26.72%

Umbral: 11%

Exposición: 21.96%

Umbral: 9.04%

Figura 3. Parámetros de medición para el análisis granulométrico

Como resultado de este estudio se encontró que el microscopio no cuenta con ninguna falla, si no, que los dos técnicos hacen el proceso diferente ya que al momento de editar el tiempo de exposición y el umbral de las partículas en el cual, el microscopio va a detectar el tamaño de la partícula a analizar salen resultados diferentes, ya que el técnico 1 solo marca el umbral de las partículas a un 1%, 6%, etc., además que no adecua el tiempo de exposición y realiza el estudio con la exposición predeterminada del microscopio y se aprecian todas las partículas que está marcando con el umbral y aunque sea un umbral muy bajo la mayoría de las partículas se marcan adecuadamente, teniendo como resultado que la mayoría de las membranas con contaminación fueran rechazadas, por el tamaño que excede los criterios del cliente.

En cambio, el técnico 2 subió la intensidad del tiempo de exposición, pero el umbral no abarcó la mayor parte de las partículas con

el fin de que el microscopio detectara muy poco las partículas, teniendo como resultado que la mayoría de las membranas con contaminación fueran aceptadas, cuando en realidad deberían ser rechazadas, teniendo en cuenta que las membranas tenían exceso de contaminación y el tamaño excedía los criterios del cliente.

Para dar solución a esta situación se creó un procedimiento para el análisis granulométrico que determina el uso correcto de los parámetros del software. Además, se instruyó a los dos técnicos mediante un entrenamiento del procedimiento creado de tal manera que al momento de realizar el análisis los resultados sean más exactos con cada una de las membranas. Después se procedió a realizar un nuevo estudio de R&R considerando las mismas dos personas, 10 membranas y dos réplicas del estudio, los resultados obtenidos se discuten a continuación.

Para el estudio de R&R por atributos del proceso mejorado se pudo observar que todos los elementos fueron calificados correctamente y solo el elemento 2 se calificó como bueno cuando debería de haber sido malo el 24% de las veces. En este estudio Rosita califico correctamente las membranas, mientras que Christian tuvo un porcentaje de membranas malas calificadas como buenas con aproximadamente el 5%.

En el análisis de concordancia se obtuvo un 97.5% de exactitud lo cual es bueno, ya que el procedimiento que se creó si mejoro el sistema de medición en ambos técnicos, ya que los resultados fueron más exactos al realizar el análisis de granulometría.

Por otra parte, se procedió a realizar nuevamente otro estudio a las mediciones para saber cuántas partículas se obtuvieron al hacer el análisis con los parámetros que ponían los dos técnicos.

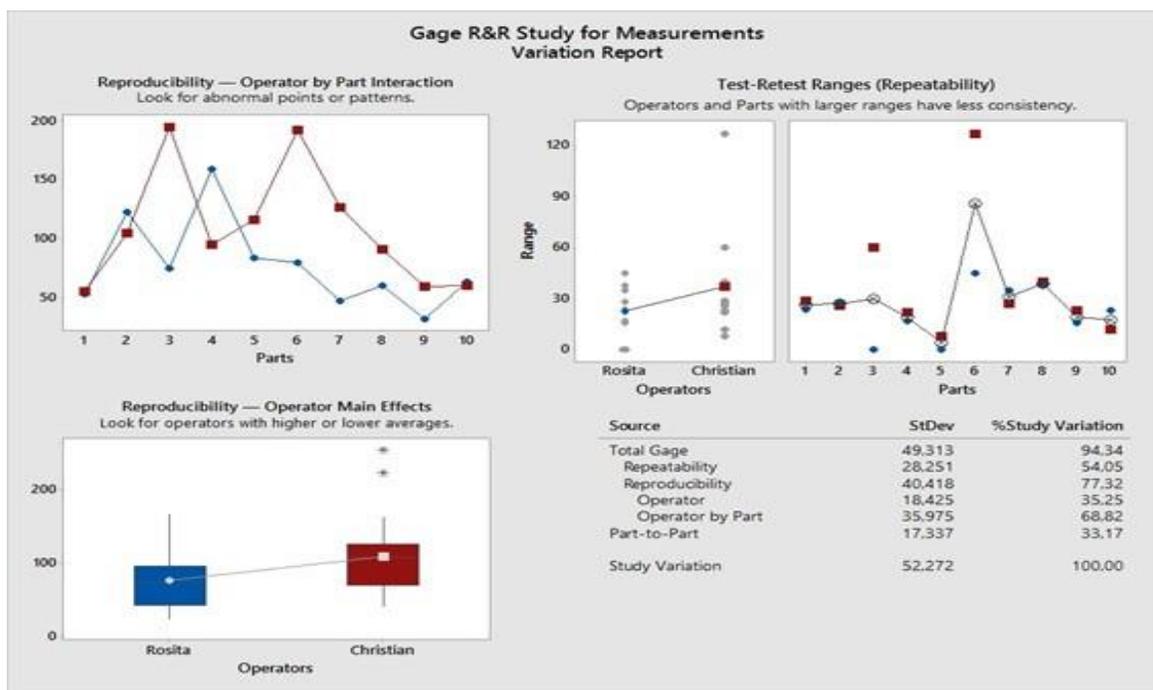


Figura 4. Resultado de estudio R&R del sistema de medición mejorado para tamaño de partículas.

Se puede observar que, en la figura 4 de rangos de repetición, en la parte 3 y 6 se tuvo una medición anormal por parte de Christian. Y en la reproducibilidad tiene más variación que Rosita por los valores que salieron anormal. La variación que se debe al sistema de medición es de un 94.3% el cual dice que el sistema no es bueno, al igual que en el primer estudio realizado.

**Conclusiones y discusión**

Dentro del estudio se tuvo como objetivo mejorar el proceso de limpieza y reducir los rechazos de los arneses por partículas que exceden los criterios del cliente. Dados los

resultados que se discuten en los estudios R&R y el análisis de contaminación del equipo es posible decir que se cumplió con el objetivo, esto porque se realizaron análisis de reproducibilidad y repetibilidad y diagrama de Ishikawa para conocer los factores que estuvieran influyendo en la contaminación encontrada en las membranas. Por otra parte, la causa raíz de la contaminación es el líquido metalnox y contaminación en el embolo de la máquina de limpieza y es por eso que se determina cambiar el líquido metalnox y limpiar el embolo de la máquina de limpieza, para prevenir y reducir los rechazos de los arneses y el scrap.

Además, se realizaron análisis y pruebas para mejorar el proceso de granulometría y comprobar que el sistema de medición funcionara correctamente, y en efecto funciona correctamente, pero se implementó un procedimiento para mejorar los resultados de las pruebas de limpieza para tener una veracidad en los resultados que se entregan, pero se le debe de dar seguimiento constantemente, instruyendo a los técnicos que lo realizan como a los nuevos técnicos que vayan a realizar este tipo de pruebas. De igual manera, aunque se obtuvo una mejora considerable en el análisis de R&R para atributos aun queda trabajo que realizar para el tamaño de partículas, esto dado que los tamaños de las mismas aún no se determinan de manera uniforme. Aunque esta condición no afecta a la prueba final importante dado que las membranas son detectadas correctamente como buenas o malas en un 97.5%. Para mejorar el desempeño del estudio R&R para el tamaño de las partículas se pretende seguir estudiando los parámetros del software que influyen directamente en la determinación de los tamaños de las partículas.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y a la empresa automotriz en la cual se desarrolló el proyecto.

### Referencias

- [1] C. Camisón, S. Cruz y T. González. Gestión de la calidad, Madrid: Pearson Educación, 2006
- [2] C. Ornelas, E. Medina Tafoya y L. Carmen, "Beneficios de las certificaciones en ISO 9001: 2008 y en ISO TS 16949:2009 en empresas de aguas calientes," *Concienc. Tecnológica*, no. 52, pp. 19-25, 2016
- [3] Equipo Vértice. Gestión de la calidad (ISO 9001/2008), Editorial vértice, 2010
- [4] ISO, "ISO/TS 16949-2009: Sistemas de gestión de la calidad Requisitos particulares para la aplicación de la Norma ISO 9001:2008 para la producción en serie y de piezas de recambio en la industria del automóvil," vol. 2009, p. 39, 2009
- [5] Gestión de Calidad en la Industria Automotriz ISO/TS 16949. [En línea]. Disponible en: <http://www.qcaquality.com.ar/gestion-de-calidad-en-la-industria-automotriz.html>
- [6] J. Droguett y J. Francisco. "Calidad y satisfacción en el servicio a clientes de la industria automotriz: análisis de principales factores que afectan la evaluación de los clientes", 2012
- [7] ISO 16232:2018. Road vehicles — Cleanliness of components and systems "International Standard: components and systems. [En línea], Disponible en: <https://www.iso.org/standard/70267.html>
- [8] Anónimo, "Técnicas Gravimétricas: Factor Gravimétrico Métodos gravimétricos," *Cátedra Quim. Anal*, vol. 1, pp. 1-13, 2013
- [9] J. Simeon, "En agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz no. 200 (75 μm) en agregado mineral por lavado," *Anal. tamaño partículas por tamizado en Agreg. FINO Y GRUESO Y Determ. Mater. Más fino que el tamiz No. 200 (75 μm) en Agreg. Miner. POR LAVADO*, vol. 1, no. 01, p. 15, 1996
- [10] C. Cleanliness, F. Systems, H. Complying, and I. S. O. Standards, "Technical White Paper Component Cleanliness of Fluid System in Automotive and Hydraulics Complying with ISO Standards".
- [11] I. Silva-Urbina, M. Rodríguez-Pineda, R. Acosta-Rozo y P. Gómez-Monsalve, "Diseño de plan de mantenimiento preventivo para los talleres del centro CIES Sena Regional Norte de Santander utilizando metodología AMEF", *Mundo Fesc*, vol. 9, no. 18, pp. 36-46, dic. 2019
- [12] J. S. Blanco Cáceres. y O. M. Duque Suárez, "Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la Empresa

- Comercializadora LICRATEX C.A", *Mundo Fesc*, vol. 8, no. 15, pp. 41-48, oct. 2018
- [13] A. De La Espriella-Babiloni, "Comparación entre tecnologías emergentes y tradicionales en automatización e instrumentación industrial", *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, vol. 10, no. 1, pp. 70-77, ene. 2019
- [14] M. Bello y M. Pino, "Medición de presión y caudal." *Boletín INIA*, vol. 28, no. 21, 2000
- [15] J.H.. Hong and M. Day, "The Cleanliness of Parts and Components of Fluid Systems in Automotive, Hydraulics and Aerospace complying with ISO16232, ISO18413 and ISO 12345," *J. Drive Control*, vol. 9, no. 2, pp. 22-27, 2012, doi: 10.7839/ksfc.2012.9.2.022
- [16] D. María Antonia and V. Marcos, "Introducción a la metrología química: Curvas de calibración en los métodos analíticos.," *Antología Química Analítica Exp.*, pp. 18-26, 2008
- [17] H. Kume, *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad*, Bogotá: Norma, 1992
- [18] R. Bermúdez y D. Camacho, "El uso del diagrama causa-efecto en el análisis de casos," *Rev. Latinoam. Estud. Educ.*, vol. XL, no. 3-4, pp. 127-142, 2010
- [19] M. Botero Arbelaez, J. Mendoza Vargas, and O. Arbeláez Salazar, "Método anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición.," *Sci. Tech.*, vol. 5, no. 37, pp. 533-537, 2007, doi: 10.22517/23447214.4181
- [20] A. Sivaji, *Measurement system analysis*, vol. 2006. 2006
- [21] P. Paisan y P. Moret, "La repetibilidad y reproducibilidad en el aseguramiento de la calidad de los procesos de medición," *Tecnol. Química*, 2010
- [22] E.J. Escalante, "Seis-Sigma: Metodología y Técnicas", México: Limusa, 2008
- [23] A. Morales, "Linealidad," *instrumentación básica procesos Ind. básica procesos Ind.*, pp. 37-38, 2007