



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO**

**TESIS**

**Diseño de un sistema de inspección para la  
detección automática de rebaba en la producción de  
neumáticos**

Que para obtener el grado de:  
**Maestro en Planeación Estratégica e Innovación**

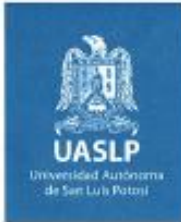
Presenta  
**Ing. Pedro Francisco Perera Posada**

Asesor:  
***Dr. Héctor Méndez Azúa***

Co-Asesor:  
***Dr. Felipe Pazos Flores***

San Luis Potosí, S. L. P. Marzo 2021





FACULTAD DE  
INGENIERÍA

20 de febrero de 2020

**ING. PEDRO FRANCISCO PERERA POSADA  
P R E S E N T E**

En atención a su solicitud de Temario, presentada por los **Dres. Héctor Méndez Azúa y Felipe Pazos Flores**, Asesor y Co-asesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestro en Planeación Estratégica e Innovación**, me es grato comunicarle que en la Sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 20 de febrero del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

**TEMARIO:**

**"Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos"**

Introducción.

1. Panorama general de la industria llantera en México
2. Desarrollo del sistema de inspección automático para la identificación de rebaba en neumáticos
3. Evaluación del sistema de inspección desarrollado en una línea de producción

Conclusiones.

Referencias.

**"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"**

**ATENTAMENTE**

**M. I. JORGE ALBERTO PÉREZ GONZÁLEZ**  
**DIRECTOR**

DIRECCIÓN

[www.uaslp.mx](http://www.uaslp.mx)

Copia. Archivo  
\*etn.

Av. Manuel Nava 8  
Zona Universitaria • CP 78200  
San Luis Potosí, S.L.P.  
tel. (444) 826 2330 al3y  
fax (444) 826 2336

"1945-2020: 75 años de formación de profesionales en la Facultad de Ingeniería"



**UASLP**  
Universidad Autónoma  
de San Luis Potosí



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



CENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
Y ESTUDIOS  
DE POSGRADO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área de Investigación y Estudios de Posgrado

### Aclaración

El presente trabajo que lleva por título:

Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos

se realizó en el periodo septiembre de 2016 a febrero de 2020 bajo la dirección del  
Dr. Héctor Méndez Azúa

### Originalidad

Por este medio aseguro que he realizado este documento de tesis para fines académicos sin ayuda indebida de terceros y sin utilizar otros medios más que los indicados.


Las referencias e información tomadas directa o indirectamente de otras fuentes se han definido en el texto como tales y se ha dado el debido crédito a las mismas.

El autor exime a la UASLP de las opiniones vertidas en este documento y asume la responsabilidad total del mismo.

Este documento no ha sido sometido como tesis a ninguna otra institución nacional o internacional en forma parcial o total.

Se autoriza a la UASLP para que divulgue este documento de Tesis para fines académicos.

Nombre y Firma del autor

  
Francisco Pérez Tescado

## ***Dedicatoria***

La elaboración de este trabajo de tesis para la obtención del grado de Maestro en Planeación Estratégica e Innovación va principalmente dedicada a Dios por darme la guía más importante de mi vida la Sra. Ana Gabriela Méndez Albarrán la cual me ayudó y me acompañó durante este reto.

A mi padre el Sr. César Augusto Perera Torres por los invaluable consejos de vida que me han hecho cambiar la forma de ver el mundo, a mi madre la Sra. María Nicolasa Posada de Perera por estar siempre a mi lado y ser el recuerdo más bonito de mi niñez.

A mis hermanos Alejandra Gabriela Perera Posada, María Cristina Perera Posada y César Augusto Perera Posada por inculcarme los valores y sentimientos que me definen como persona, sin ellos esto nunca hubiera sido posible.

A mis cuñados el Sr. Rodolfo Canseco Castro y Tolga Zehir por ser un respaldo en mi vida.

# ***Agradecimientos***

De manera muy especial quiero agradecer al Dr. Héctor Méndez Azúa, por la disponibilidad, paciencia y compromiso para fungir como guía en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco de igual manera al Dr. Felipe Pazos Flores, por su eficaz asesoría y recomendaciones para perfeccionar la calidad del contenido de este trabajo.

A los sinodales la Dra. Sandra Luz Rodríguez Reyna y el M.A. Gylmar Mariel Cárdenas por su valiosa retroalimentación y enseñanza a lo largo de este tiempo.

Agradezco a mis profesores del posgrado de la maestría “Planeación estratégica e innovación” por ser nuestros mentores y compartir sus conocimientos y enseñanzas.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a todas aquellas personas que colaboraron en el desarrollo de este trabajo, especialmente a mi compañero y amigo Alejandro Álvarez por su valiosa aportación.

## RESUMEN

La complejidad del mercado automotriz representa un gran reto para la industria de los neumáticos debido a que los productos no solo deben cumplir con los parámetros de calidad y eficiencia sino también de apariencia. Actualmente uno de los parámetros de apariencia críticos es el exceso de material generado durante el proceso de fabricación conocido como rebaba. Este trabajo propone el diseño de un prototipo para la detección automática de la rebaba basado en la metodología de diseño de la espiral de Ullman y está dirigido a la industria de la fabricación de neumáticos con la finalidad de mejorar los procesos de inspección de los defectos estéticos. El desarrollo de este trabajo trajo consigo resultados de alto impacto ya que se comprobó que el sistema es capaz de hacer la detección de la rebaba y tener una trazabilidad de los procesos anteriores.

**Palabras clave:** Producción de neumáticos, defectos estéticos, rebaba, detección, trazabilidad.

## ABSTRACT

The complexity of the automotive market represents a great challenge for the tire industry because the products must not only meet the parameters of quality and efficiency but also of appearance. Currently, one of the critical appearance parameters is the excess material generated during the manufacturing process known as flash. This work proposes the design of a prototype for automatic flash detection based on Ullman's Spiral design methodology and is aimed at the tire manufacturing industry to improve the inspection process for cosmetic defects. The development of this work brought high impact results as it was proved that the system is able to make the flash detection and have a traceability of the previous processes.

**Keywords:** tire building, appearance defects, flash, detection, traceability,

# Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introducción .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Capítulo 1: Panorama general de la industria llantera en México.....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1 El sector automotriz en México.....   | 4         |
| 1.2 Las proveedoras de autopartes.....  | 6         |
| 1.3 Principales retos de la industria llantera.....   | 8         |
| 1.4 Principales procesos involucrados de elaboración de llantas diagonales y radiales.....                                  | 9         |
| Construcción diagonal .....   | 9         |
| Construcción radial.....  | 10        |
| 1.5 Generación de rebaba en el proceso de elaboración de llantas.....   | 13        |
| 1.6 Problemas del proceso de inspección de neumáticos en la planta de San Luis Potosí.....                                  | 14        |
| 1.7 Métodos de inspección comúnmente utilizados en la industria llantera .....  | 18        |
| 1.8 Pregunta de investigación.....  | 24        |
| 1.9 Hipótesis.....  | 25        |
| 1.10 Objetivos.....   | 25        |
| Objetivo General.....   | 25        |
| 1.11 Alcance .....  | 27        |
| 1.12 Limitaciones .....   | 27        |
| <b>Capítulo 2: Desarrollo del sistema de inspección automático para la identificación de rebaba en los neumáticos .....</b> | <b>28</b> |
| 2.1 Metodología.....  | 28        |
| 2.2 Propuesta metodológica.....   | 31        |
| 2.3 Adaptación del modelo de Ullman para la construcción del dispositivo automático de detección de errores. ....           | 34        |

|  |            |
|--|------------|
| 2.4 Indicadores .....  | 42         |
| 2.5 Cronograma de implementación.....  | 47         |
| <b>Capítulo 3. Evaluación del sistema de inspección desarrollado en una línea de producción.....</b> | <b>48</b>  |
| 3.1 Nivel 1 Prototipo Virtual .....  | 48         |
| 3.2. Nivel 2 Construcción del prototipo .....  | 88         |
| <b>Conclusiones.....</b>   | <b>113</b> |
| <b>Referencias.....</b>  | <b>117</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Ejemplo de neumático con rebaba. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 2  |
| Figura 2. ranking mundial niveles de producción, Fuente: (ANAC, 2015-2016) .....  | 5  |
| Figura 3. Medición del grabado del costado del neumático. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 7  |
| Figura 4. neumático 195/65 R15 con rebaba en ranuras. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 8  |
| Figura 5. Proceso de construcción de neumáticos. Fuente: Elaboración propia.....  | 11 |
| Figura 6. Mapa de procesos acabado final. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 14 |
| Figura 7. Operación inspección de rebaba. Fuente: Elaboración propia. ....  | 16 |
| Figura 8. a) Método de inspección visual. b) Inspección manual de ceja del neumático (Fuente:<br>Elaboración Propia) .....                        | 17 |
| Figura 9. Procesamiento de las imágenes (Chi-Wen Lung, 2016) .....  | 19 |
| Figura 10. Modelo de regresión lineal (Chi-Wen Lung, 2016) .....  | 19 |
| Figura 11. Esquema para calcular la sensibilidad del sistema (Frosio, Borghese, Tirelli,<br>Venturino, & Rotondo, 2011) .....                     | 21 |
| Figura 12. Imagen de neumático identificada de acuerdo con procedimiento de Otsu (Frosio,<br>Borghese, Tirelli, Venturino, & Rotondo, 2011) ..... | 23 |
| Figura 13. a) Reconstrucción del perfil; b) Acercamiento del perfil reconstruido (Frosio,<br>Borghese, Tirelli, Venturino, & Rotondo, 2011) ..... | 24 |
| Figura 14. El ciclo básico de diseño. (Roozenburg & Eekels, 1995) .....   | 29 |
| Figura 15. Estructura de diseño según la norma alemana VDI 2221 (Blanco Romero, 2018).....  | 30 |
| Figura 16. Espiral de desarrollo de proyectos de diseño mecánico de Ullman (Blanco Romero,<br>2018) .....   | 32 |
| Figura 17. Metodología multietapas para el desarrollo de prototipos. Fuente: Elaboración propia.<br>.....   | 35 |
| Figura 18. Selección de estudios para la evaluación del sistema de medición. Fuente: elaboración<br>propia. ....                                  | 44 |
| Figura 19. Cronograma de actividades para la ejecución del proyecto. Fuente: Elaboración<br>Propia. ....  | 47 |
| Figura 20. Módulos de la arquitectura del sistema. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 52 |
| Figura 21. Arquitectura del sistema mecánico. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 54 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 22. Arquitectura del sistema eléctrico. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 56 |
| Figura 23. Arquitectura del sistema informático. Fuente: Elaboración Propia.....   | 57 |
| Figura 24. Arquitectura de sistema para detección de rebaba en neumáticos. Fuente: Elaboración Propia. ....              | 58 |
| Figura 25. Pasos para elaboración de diseño preliminar. Fuente: Elaboración Propia.....                                  | 59 |
| Figura 26. Ilustración diseño conceptual. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 59 |
| Figura 27. Representación gráfica de la sección de trabajo de un sensor 3D. Fuente: Elaboración Propia. ....             | 67 |
| Figura 28. Representación de la distancia/ciclo en el neumático. Fuente: Elaboración Propia. ..                          | 69 |
| Figura 29. Perfil de aluminio de 45mmx45mm. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 72 |
| Figura 30. Base del sistema (mm). Fuente: Elaboración Propia.....  | 73 |
| Figura 31. Soportes laterales (mm). Fuente: Elaboración Propia.....  | 73 |
| Figura 32. Estructura principal del sistema (mm). Fuente: Elaboración Propia.....  | 74 |
| Figura 33. Soporte para sensor 3D (mm). Fuente: Elaboración Propia.....  | 75 |
| Figura 34. Rodillos y chumaceras para soporte. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 76 |
| Figura 35. Ensamble de diseño preliminar del sistema de detección de rebaba (mm). Fuente: Elaboración Propia.....        | 77 |
| Figura 36. Isométrico de la base de la estructura principal. Fuente: Elaboración Propia.....                             | 78 |
| Figura 37. Isométrico de la base de la estructura principal. Fuente: Elaboración Propia.....                             | 78 |
| Figura 38. Isométricos del diseño preliminar con detalle de los componentes del sistema. Fuente: Elaboración Propia..... | 79 |
| Figura 39. Detalle contacto entre chumacera y perfil de aluminio. Fuente: Elaboración Propia. ....                       | 80 |
| Figura 40. Detalles de malla. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 81 |
| Figura 41. Detalle de carga aplicada en los rodillos. Fuente: Elaboración Propia. ....                                   | 81 |
| Figura 42. Detalle esfuerzo máximo. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 82 |
| Figura 43. Gráfica de esfuerzos. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 82 |
| Figura 44. Gráfica de deformación. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 83 |
| Figura 45. Detalle de la deformación máxima. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 83 |
| Figura 46. Detalle del factor de seguridad. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 84 |
| Figura 47. Arquitectura final de sistema para detección de rebaba en neumáticos. Fuente: Elaboración propia.....         | 88 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 48. Diagrama de flujo. Fuente: Elaboración propia. ....  | 90  |
| Figura 49. Diagrama de bloques. Fuente: Elaboración propia .....  | 93  |
| Figura 50. Interfaz sistema-operador. Fuente: Elaboración propia. ....  | 94  |
| Figura 51. Pantalla de resultados. Fuente: Elaboración propia.....  | 94  |
| Figura 52. Estructura principal. Fuente: Elaboración propia.....  | 95  |
| Figura 53. Estructura principal. Fuente: Elaboración propia.....  | 95  |
| Figura 54. Estación de control. Fuente: Elaboración propia.....   | 96  |
| Figura 55. Prototipo Final: Sistema de detección de rebaba. Fuente: Elaboración propia. ....                        | 96  |
| Figura 56: Rangos del promedio de las mediciones de las 25 muestras. Fuente: Elaboración propia. ....               | 109 |
| Figura 57: valores y promedios obtenidos en la primera y segunda medición. Fuente: Elaboración propia. ....         | 109 |
| Figura 58. Representación gráfica 3D obtenida del sistema de inspección de rebaba. Fuente: Elaboración propia. .... | 111 |
| Figura 59. Imagen 3D creada por la interfaz. Fuente: Elaboración propia.....  | 112 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Tabla de Resultados de medición (Chi-Wen Lung, 2016) .....  | 20  |
| Tabla 2. Lista de referencia para las especificaciones del producto (Blanco Romero, 2018).<br>Fuente: Elaboración Propia.....      | 37  |
| Tabla 3. Valores mínimos de kappa y efectividad para un estudio por atributos. Fuente:<br>Elaboración Propia.....                  | 45  |
| Tabla 4. criterios del estudio GR&R. Fuente: Elaboración Propia.....   | 45  |
| Tabla 5. Listado de especificaciones generales. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 49  |
| Tabla 6. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de. Fuente: Elaboración Propia.....   | 53  |
| Tabla 7. Categorías de Sistemas de Visión. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 63  |
| Tabla 8. Perfil de Aluminio. Fuente: Elaboración Propia en base a datos de proveedor Norelem.<br>.....                             | 65  |
| Tabla 9. Comparativa de sensores 3D. Fuente: Elaboración Propia en base a datos de proveedor<br>Cognex. ....                       | 66  |
| Tabla 10. Comparativa de los tipos de encoder. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 68  |
| Tabla 11. Especificación de motorreductores DC. Fuente: Elaboración Propia con datos de<br>proveedor Zhaowei. ....                 | 70  |
| Tabla 12. Selección de acoplamiento flexible. Fuente: Elaboración Propia con datos de<br>proveedor Hohner. ....                    | 71  |
| Tabla 13. Especificaciones del controlador. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 72  |
| Tabla 14. Tabla de límites de cedencia de los materiales. Elaboración Propia. ....   | 80  |
| Tabla 15. Revisión de especificaciones del sistema propuesto por cada uno de los departamentos.<br>Fuente: Elaboración Propia..... | 85  |
| Tabla 16. Tabla de principios de funcionamiento del sistema. Fuente: Elaboración propia. ....                                      | 89  |
| Tabla 17. Listado de funciones básicos para la estructura del programa. Fuente: Elaboración<br>Propia. ....                        | 92  |
| Tabla 18. Tabla de valores conocidos. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 99  |
| Tabla 19. Estudio de concordancia por atributos GR&R. Fuente: Elaboración Propia.....  | 101 |
| Tabla 20. Resultados de estudio de concordancia por atributos GR&R. Fuente: Elaboración<br>Propia. ....                            | 102 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 21. Estudio de concordancia por atributos GR&R al sistema propuesto. Fuente:<br>Elaboración propia. ....   | 104 |
| Tabla 22. Resultados de estudio de concordancia por atributos GR&R al sistema propuesto.<br>Fuente: Elaboración Propia. ....   | 106 |
| Tabla 23. Tabla de rangos y promedios de las 25 muestras. Fuente: Elaboración Propia. ....   | 108 |
| Tabla 24. Tabla de constantes para gráficos de control. Fuente: Elaboración propia basada en el<br>manual de Análisis del Sistema de Mediciones o MSA (Company, Raytheon, 2003)..... | 110 |

## ***Introducción***

Actualmente en las empresas que se encargan de la producción de neumáticos para la industria Automotriz se enfrentan a diversos retos en un mercado creciente y cambiante a nivel mundial, ya que no solo se busca que el rendimiento de los productos sea el mejor y aún bajo costo, sino que también tenga una apariencia agradable al consumidor.

La complejidad de los diferentes mercados representa un gran reto para la industria de los neumáticos ya que, al tener tantos mercados tan diferentes, es necesario contar con una amplia variedad de productos que tengan un buen rendimiento. Sin embargo, actualmente no todo depende del rendimiento. Actualmente, en los mercados automotrices mundiales, una de las características más importantes es la apariencia de los neumáticos.

Actualmente, la rebaba es un gran problema que enfrentan los productores de neumáticos a nivel mundial ya que puede ocasionar diversos problemas como reclamos de calidad por parte de los clientes, esto da como resultado un gran golpe financiero e inclusive una posible pérdida de clientes debido a que el producto no es lo suficiente atractivo para el consumidor. Llámese clientes a las compañías encargadas de la fabricación de vehículos.

La rebaba según la Real Academia Española (RAE, 2019) se define como la Porción de materia sobrante irregularmente en los bordes o superficie de un objeto cualquiera (Ver Figura 1).

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*



*Figura 1. Ejemplo de neumático con rebaba. Fuente: Elaboración Propia.*

El presente trabajo aborda un importante parámetro al cual no se le ha dado la debida importancia en la industria de la fabricación de neumáticos como es la apariencia del neumático, específicamente la rebaba. Este trabajo presenta una propuesta de diseño para la detección de la rebaba en los neumáticos, la cual ha tomado mucha importancia a nivel mundial.

El beneficio principal de este trabajo es el aumento de la confiabilidad del proceso de inspección de los neumáticos. Esto significa que, mediante un sistema automático, es posible tener una trazabilidad de los neumáticos con exceso de material, para clasificarlos de manera correcta y poder dar retroalimentación en tiempo real a los procesos previos con la finalidad de tomar acciones correctivas para erradicar el problema que está generando este defecto sobre el neumático.

El automatizar este proceso evita que se generen gastos extraordinarios por retrabajos dentro y fuera de la compañía, también permite reducir costos de operación ya que el sistema de visión sustituye al operador al momento de clasificar los neumáticos.

El siguiente trabajo está dividido en 3 capítulos de los que a continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

El capítulo 1 presenta el contexto de este trabajo, donde se explica las generalidades del proceso de fabricación de los neumáticos, y los factores que provocan la generación de rebaba en los neumáticos. En este capítulo también explica el proceso

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

actual de inspección en los neumáticos y justifica el empleo de un sistema automático para la inspección.

El capítulo 2 se presenta la propuesta metodológica para el diseño de un sistema automático de visión.

En el capítulo 3 se validarán los resultados obtenidos del diseño del sistema propuesto en base a la metodología de diseño utilizada para este proyecto

Finalmente, se formularán las conclusiones del funcionamiento del sistema propuesto y se darán las recomendaciones para los siguientes pasos.



## **Capítulo 1: Panorama general de la industria llantera en México**

En este primer capítulo se hace referencia a la importancia del sector automotriz en México y a nivel global, así como de la importancia que tienen los proveedores de la industria automotriz como lo es la industria de los neumáticos, en la cual está basado este trabajo. Adicionalmente, se explica el proceso de fabricación de neumáticos utilizado en la empresa de San Luis Potosí, así como el proceso de inspección actual, los diferentes métodos de inspección automáticos y su aplicación en el proceso de los neumáticos.

### **1.1 El sector automotriz en México**

El desarrollo de manera constante que se ha venido presentando en la industria automotriz está ligado a las necesidades de los consumidores actuales. En el pasado, lo más relevante era el rendimiento del automóvil. Sin embargo, el rendimiento no es solo primordial, también lo son las tecnologías amigables empleadas con el medioambiente, los sistemas de conectividad, la eficiencia en el uso de combustibles y la apariencia son actualmente las tendencias que marcan el desarrollo de la industria en su totalidad.

La industria automotriz es una de las más relevantes en la economía global debido a su dinamismo durante los últimos diez años, registrando una expansión promedio real anual de 7.4% en el periodo del 2004-2014; un poco más de 3 puntos porcentuales sobre el crecimiento anual de la actividad total del PIB. (ANAC, 2015-2016)

La fabricación en la industria automotriz en el año 2014 ascendió a 88.24 millones de unidades mientras que las ventas sumaron 89.75 millones de unidades. Los

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

principales fabricantes a nivel mundial son China, Estados Unidos y Japón ocupando el 50.3% del mercado. (ANAC, 2015-2016)

La Figura 2 muestra las unidades vendidas y fabricadas durante el 2014 donde se puede ver que México es uno de los países más importantes ubicado en el séptimo lugar.

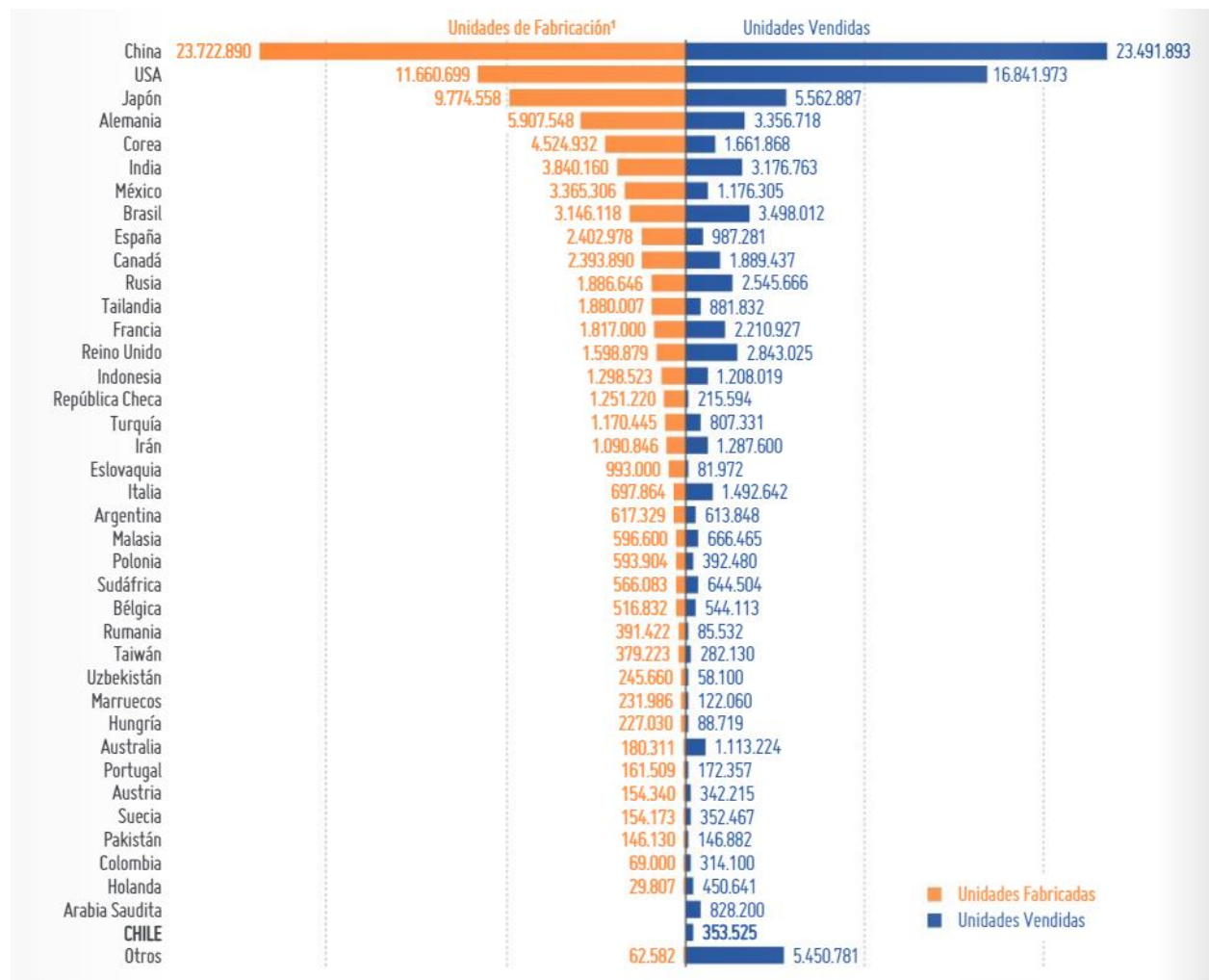


Figura 2. ranking mundial niveles de producción, Fuente: (ANAC, 2015-2016)

Actualmente, México es uno de los mayores productores de automóviles y se pronóstica la llegada de más fabricantes de automóviles a la república mexicana esto debido a que México es muy atractivo debido a sus costos competitivos de mano de obra, la red de acuerdo comerciales y los tratados de comercio que se tienen con otros países,

así como su privilegiada ubicación geográfica, debido a que facilita la distribución de los vehículos a otros países en el mundo.

La importancia del automóvil es muy alta, principalmente en el desarrollo económico. Las automotrices compiten por ser las mejores en: vanguardia, estética, potencia, eficiencia.

## 1.2 Las proveedoras de autopartes

La industria de autopartes ha evolucionado de acuerdo con los cambios de la industria automotriz. Anteriormente, la industria automotriz diseñaba el vehículo, producía la mayoría de sus partes y lo ensamblaba, este modelo de producción permaneció hasta la aparición del sistema “just in time”(justo a tiempo), el cual promovía la entrega de mercancías de manera directa de la fábrica al minorista, o de partes de los proveedores de autopartes a la empresa que ensambla el vehículo final, sin la necesidad de acumular las mercancías en un almacén, ya que esto significaba incurrir en mayores gastos. (Ramírez Medina, 2013)

La industria de autopartes en México es muy competitiva y está integrada por 600 empresas de primero, segundo y tercer nivel para poder abastecer a las plantas fabricadoras de automóviles. Esto ha generado que empresas importantes de autopartes realicen grandes inversiones para poder abastecer la demanda requerida.

En los últimos 5 años, la producción de neumáticos en México ha crecido casi 82% al pasar de 13 millones 847 mil unidades en 2009 a 25 millones 116 mil en 2013 (Hernández Cedillo, 2014).

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Las fábricas establecidas tienen la capacidad de abastecer 86% de la demanda del mercado automotriz. Cuatro de las marcas líderes se encuentran en México, lo que ha provocado una alta demanda de este producto.

La industria automotriz es un gran reto para cualquier industria dedicada a la fabricación de autopartes ya que los productos que ofrecen deben cumplir con los requerimientos de uso y actualmente deben ser estéticamente agradables.

La Figura 3 muestra cómo se hace la medición del grabado del neumático, de manera manual (a) y semiautomática (b).



(a)



(b)

*Figura 3. Medición del grabado del costado del neumático. Fuente: Elaboración Propia.*

Uno de los más recientes reclamos fue el hecho por una compañía japonesa fabricante de automóviles a una empresa de neumáticos localizada en México. El reclamo se dio en el modelo 195/65R15 en el año 2013 y fue debido a que se encontraron neumáticos que tenían una gran cantidad de rebaba en diferentes áreas del neumático. Este defecto no tiene consecuencias en el rendimiento del neumático. Sin embargo, tener un buen acabado estético es más atractivo al consumidor.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

En la Figura 4 se presenta un ejemplo similar al de las rebabas encontradas en el modelo 195/65 R15.



*Figura 4. neumático 195/65 R15 con rebaba en ranuras. Fuente: Elaboración Propia.*

### 1.3 Principales retos de la industria llantera

Al igual que la industria automotriz, la industria de los neumáticos está cambiando para poder satisfacer la demanda y los requerimientos actuales.

Actualmente, a nivel mundial, hay dos vertientes en lo que se refiere a la venta de neumáticos, la primera habla de EO (equipo original) para autos y camiones para la industria automotriz, y la segunda se refiere a RE (mercado de reemplazo) para autos y camiones enfocada a distribuidores y tiendas de autoservicio. (Segura, 2015)

Estas dos vertientes están enfocadas a diferentes mercados los cuales se clasifican de la siguiente manera:

- PLT: se refiere a neumáticos para auto de pasajeros y camioneta ligera.
- CVT: que abarca todo el mercado de neumáticos para transporte de carga, como autobuses, montacargas, transporte portuario y agricultura.

La eficiencia de los productos no es el único reto que se afronta ya que también las empresas dedicadas a los neumáticos han tenido que poner mayor esfuerzo en sus productos para que sean visualmente atractivos al consumidor. En los últimos años se han reportado varias pérdidas para los fabricantes de neumáticos debido a que no cumplen con las especificaciones de apariencia (acabado, grabado, marcas) que requieren los fabricantes de automóviles. Esto ha hecho que en los últimos años se genere una gran inversión por parte de los productores de neumáticos para cumplir con este requerimiento.

Este trabajo pretende abordar uno de los principales problemas de apariencia el cual es el exceso de material en los neumáticos. Con la propuesta que se presentará se pretende evitar que los clientes reciban neumáticos que no estén acorde a sus requerimientos.

## **1.4 Principales procesos involucrados de elaboración de llantas diagonales y radiales**

En la actualidad los neumáticos pueden tener dos diferentes tipos de construcción: la construcción diagonal y la construcción radial.

### ***Construcción diagonal***

La construcción diagonal consiste en colocar varias capas, como máximo 6 y estas pueden ser de rayón o nylon. Las capas se colocan de manera que estas quedan entrecruzadas, siguiendo un ángulo determinado. Este ángulo se le conoce como ángulo de incidencia y determina ciertas características de los neumáticos.

Un ángulo obtuso aumenta el confort, pero reduce la estabilidad lateral, en cambio un ángulo agudo mejora la estabilidad direccional, pero reduce el confort.

Este tipo de construcción tiene como ventaja brindar mejor dureza y estabilidad, pero este diseño trae como desventaja que la dureza no le permita al neumático ajustarse a la superficie ocasionando un menor agarre en curvas y generando mayor consumo de combustible.

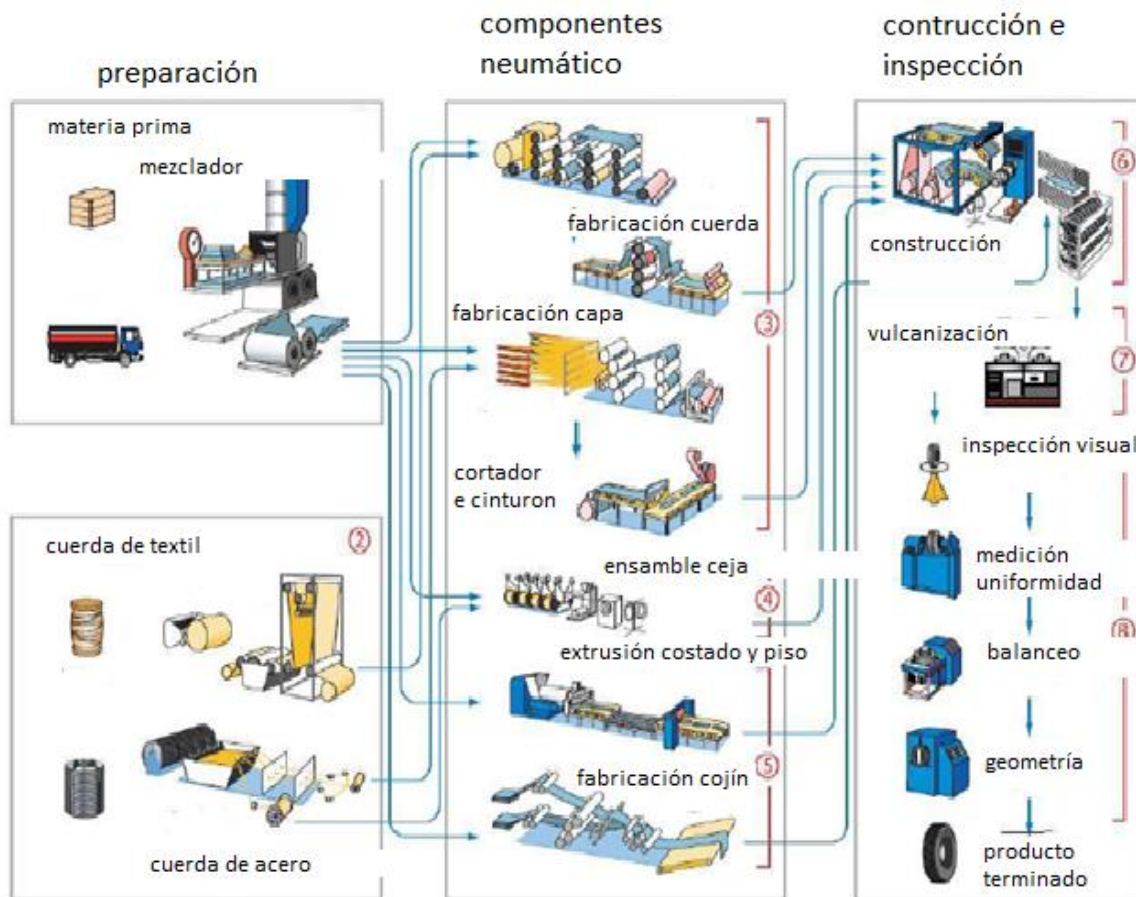
### ***Construcción radial***

En la construcción radial, los hilos o cuerdas de acero están organizados perpendicularmente al sentido de rotación. Por medio de este arreglo la carcasa absorbe las fuerzas transversales en las curvas, así como las fuerzas generadas durante la aceleración.

La construcción radial actualmente es la más utilizada ya que permite que los neumáticos tengan mayor adherencia a la superficie, tracción, agarre, aumento de confort y reducción en el consumo del combustible. A continuación, se presenta el proceso de fabricación de los neumáticos de construcción radial que son los que actualmente se construyen en la Planta base de nuestra propuesta ubicada en la ciudad de San Luis Potosí.

La construcción radial se utiliza para producciones a mayor escala, y el proceso se divide en 3 áreas: área de mezclado, área de preparación de materiales-construcción y área de vulcanizado-acabado final. (Ver Figura 5)

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*



*Figura 5. Proceso de construcción de neumáticos. Fuente: Elaboración propia.*

- a) **Área de mezclado:** Es la distribución y/o dispersión de un componente en otros. Después del mezclado de los componentes como la silica, hule natural, hule sintético y diferentes componentes químicos, se obtendrá de este proceso el hule para producir las diferentes partes del neumático. El área de mezclado está conformada por varios procesos, en los cuales se producen los materiales que serán utilizados para el área de preparación de materiales y construcción.



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Sub procesos del área de mezclado:

- a) Calandrado: En este proceso se coloca el textil y se cubre con una capa de hule en su totalidad.
- b) Extrusión: El material pasa a través de un dado para dar la forma requerida, en este proceso se fabrica el costado y el piso del neumático.

**b) Área de preparación de materiales y construcción:** Teniendo los componentes de los diferentes procesos del área de mezclado es tiempo de empezar su preparación para que puedan ser ensamblados en el área de construcción. El área de preparación se refiere a preparar, de manera separada, cada componente que debe llevar el neumático para su fabricación como la ceja, cinturones, espiral y número de capas.

El área de construcción se refiere al ensamble de todos los componentes de la llanta que previamente fueron producidos para formar lo que se conoce como neumático verde, este hace referencia al neumático que todavía no adquiere las propiedades finales debido a que no ha sido vulcanizado.

**c) Área de vulcanización y acabado final:** En el área de Vulcanizado el neumático mediante temperatura, vapor y nitrógeno adquiere sus propiedades finales. El neumático es colocado automáticamente en una prensa que contiene moldes de 9,11 y 15 segmentos. Los moldes son los encargados de darle el diseño al neumático. El ciclo de vulcanización va a depender del tamaño del neumático por lo que puede variar de 6.5 minutos hasta los 22 minutos.

Este proceso es vital ya que una vez vulcanizado el neumático no es posible repararlo y en caso de no cumplir con las especificaciones de calidad es denominado desecho.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

En el área de acabado final se llevan a cabo diferentes mediciones en el neumático para verificar que cumpla con las especificaciones necesarias y se divide en los siguientes subprocesos:

- a) Área de Rebabeo: aquí se remueve el exceso de material en los neumáticos.
- b) Inspección: el neumático se inspecciona de manera exhaustiva de forma manual para encontrar defectos de fabricación.
- c) Área de Uniformidad: se mide que el neumático este uniforme, es decir que los materiales se encuentren en el lugar adecuado.
- d) Área de Balanceo: aquí se mide la conformidad del balance de los neumáticos.
- e) Área de Geometría: aquí se mide la geometría (depresiones y/o protuberancias).

## 1.5 Generación de rebaba en el proceso de elaboración de llantas

La rebaba es la porción de materia sobrante irregularmente en los bordes o superficie de un objeto cualquiera, en el caso de los neumáticos, esto representa un gran problema para los productores de neumáticos a nivel mundial.

Su generación se debe a varios factores y esta puede ser dividida según su tipo y localización. A continuación, se enlistan los factores más importantes que originan este defecto:

- *Moldes segmentados*: Pueden ser de 9, 11 y 15 segmentos. Los moldes aseguran la forma y el diseño de los neumáticos. No debe haber más de 5 milésimas de separación entre cada segmento para evitar el flujo de material y la formación de la rebaba.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

- *Prensa de vulcanización:* Cuando los neumáticos son cargados de manera automática y no son depositados de manera adecuada dentro de la prensa pueden generar rebaba en el área de la ceja tanto en la parte superior como en la inferior. El que no sean depositados de manera adecuada se debe principalmente a fallas en los cargadores mecánicos.
- *Construcción de neumático:* Esta se origina debido al contenido extra de material durante la construcción del neumático. En el proceso de vulcanización el material sobrante fluye y forma lo que se conoce como rebaba en el costado.

## 1.6 Problemas del proceso de inspección de neumáticos en la planta de San Luis Potosí

En la planta de fabricación de neumáticos, en la cual se estará basando el siguiente trabajo, la inspección de la rebaba se realiza de manera visual y se clasifica en un área especial dedicada a remover el exceso de material en los neumáticos como se puede observar en la Figura 6.

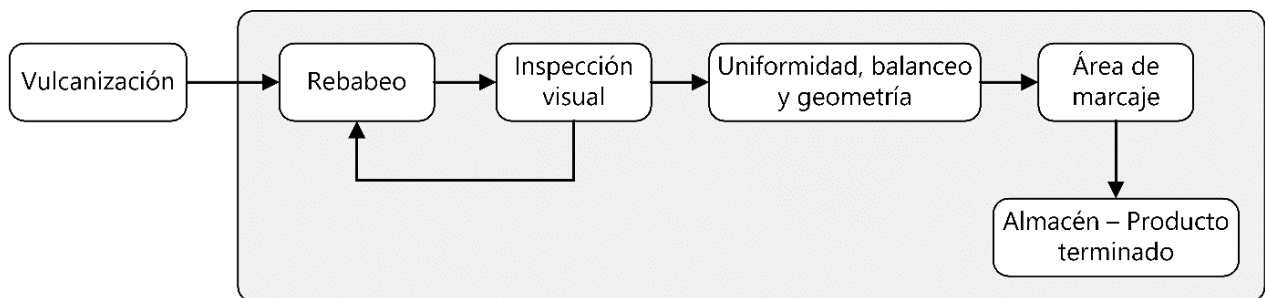


Figura 6. Mapa de procesos acabado final. Fuente: Elaboración Propia.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

El proceso de inspección y clasificación de los neumáticos se lleva a cabo mediante un operador, la cual realiza en base a su observación y a las siguientes especificaciones:

1. Cualquier neumático que tenga rebaba en la parte superior o inferior debe ser enviado al área de rebabeo.
2. Los que no presentan rebaba, deberán seguir el flujo normal hacia el área de inspección.

Para realizar el proceso de inspección y clasificación de los neumáticos con rebaba se cuenta con un operador por turno (7.5 hrs.) el cual se encarga de hacer la clasificación de los neumáticos en base a su intuición.

Las condiciones del proceso no son favorables para el operador ya que los neumáticos que vienen del área de vulcanización y se dirigen al área de Acabado Final vienen sobre un transportador largo el cual solo permite observar la parte superior del neumático (ver Figura 7), lo que complica que el operador pueda observar si el neumático tiene rebaba en la parte inferior del neumático.

El transportador tiene una velocidad constante y no se detiene, lo cual complica analizar de una manera efectiva al 100% los neumáticos. Únicamente se logra observar la parte superior del neumático lo que imposibilita al operador a realizar la inspección visual de la parte inferior dando como consecuencia el análisis incompleto de las piezas.

Cuando el operador detecta un neumático con rebaba, debe activar un brazo neumático para desviar el neumático hacia el área de rebabeo, el operador debe realizar esta actividad durante 7.5 hrs., lo cual reduce su efectividad y representa una tarea tediosa debido a los largos periodos de tiempo en los que el operador debe estar totalmente concentrado. Es importante considerar que las condiciones físicas de las personas tienen limitaciones haciendo este proceso muy ineficaz, trayendo como consecuencia que se tengan que volver a clasificar estos neumáticos.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*



*Figura 7. Operación inspección de rebaba. Fuente: Elaboración propia.*

La Planta de neumáticos de San Luis Potosí se producen 22 mil neumáticos por día, trabajando los tres turnos los 7 días de la semana, lo cual significa que cada operador necesita inspeccionar de manera visual alrededor de 7,000 neumáticos por turno, lo cual representa una tarea muy tediosa y complicada.

De acuerdo con un estudio realizado dentro de la compañía se cuantificó que el 65% de los neumáticos que vienen del área de vulcanizado tienen rebaba, lo cual significa que, por cada 7 mil neumáticos, 4 mil 450 neumáticos tienen rebaba.

La rebaba es un proceso difícil de controlar debido a que no se tiene retroalimentación de los neumáticos que tienen rebaba ya que no se cuenta ningún sistema que indique, en tiempo real, de donde exactamente provienen los neumáticos con rebaba. Las auditorías internas han revelado que uno de los mayores problemas que

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

tiene la planta es la fuga de neumáticos con rebaba a los almacenes, por lo cual se hace indispensable tener un sistema que sea capaz de controlar y detectar estos defectos.

Cabe señalar que no todas las plantas de neumáticos tienen un área dedicada a remover el exceso de material llamado rebaba, la Planta de San Luis Potosí es una de las únicas a nivel mundial que tiene este proceso por separado. Aún y con la existencia de este proceso, algunos productos con defectos llegan al cliente final y este es uno de los motivos primordiales para que en un futuro cercano la inspección visual se sustituya por un sistema automático, capaz de detectar de mejor manera los defectos.

Una vez que el exceso de material ha sido retirado, los neumáticos son transportados de manera automática al siguiente proceso de inspección visual. La Figura 8 muestra la manera en que se realiza el proceso de inspección manual para la detección de anomalías en los neumáticos mediante una máquina semiautomática.



*Figura 8. a) Método de inspección visual. b) Inspección manual de ceja del neumático (Fuente: Elaboración Propia)*

Los neumáticos en el área de inspección se revisan manualmente de manera exhaustiva por operadores altamente calificados para encontrar desperfectos físicos generados en los procesos o durante su transporte. Si el operador detecta neumáticos con rebaba estos volverán al área de rebabeo mediante sistemas de transporte automáticos para que el exceso de material sea removido

## 1.7 Métodos de inspección comúnmente utilizados en la industria llantera

El propósito de esta sección es presentar algunos de los métodos actualmente utilizados en la industria para la detección de defectos en la manufactura de neumáticos.

### **1.- Un sistema de visión basado en láser para la inspección de la profundidad de la banda de rodadura del neumático**

La única parte del neumático que entra en contacto con el terreno es la rodadura o piso del neumático, este tiene un impacto significativo en el rendimiento del neumático, como abrasión, tracción y resistencia. El desgaste en la banda de rodadura es un tema de seguridad ya que una banda de rodadura delgada dará como resultado una fuerza de fricción insuficiente causando inestabilidad en el vehículo.

En este trabajo se presenta la propuesta de desarrollo de un detector automático de la banda de rodadura de bajo costo mediante el uso de la medición láser 3D que supla el método manual para predecir cuándo deben ser reemplazados los neumáticos.

El equipo que se utiliza consiste en una cámara para capturar las imágenes y un láser para indicar el perfil de la superficie del neumático. El equipo se coloca a una distancia de 10 cm del objeto a medir. Está conectado a un procesador y por medio del programa LabVIEW 2012 se procesan las imágenes obtenidas (ver Figura 9).

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

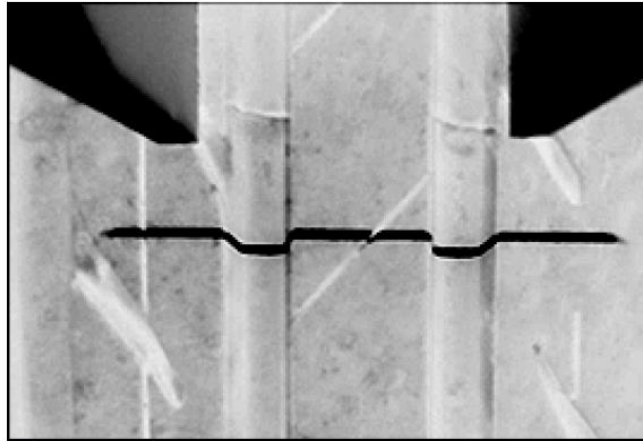


Figura 9. Procesamiento de las imágenes (Chi-Wen Lung, 2016)

El rango de la profundidad del neumático utilizado en este estudio es de 3.2 mm a 8 mm y por medio del modelo de regresión estadístico se emuló la precisión de este. El modelo de la ecuación de regresión es:

$$y = 0.0298x - 0.1185$$

Donde  $y$  es la profundidad de medida,  $x$  es el píxel de la imagen. El error de desviación estándar de medición es de 0.277 mm, y la regresión  $R^2$  es 0.9827. El modelo de Regresión Lineal se muestra en la Figura 10.

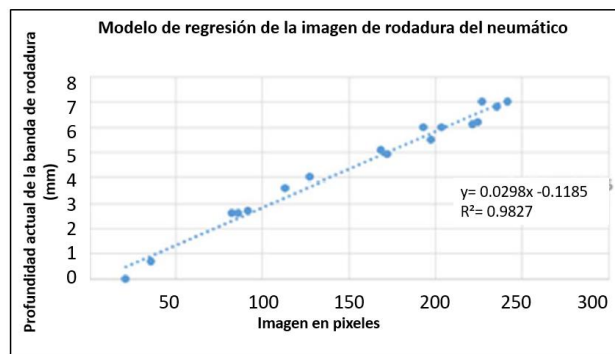


Figura 10. Modelo de regresión lineal (Chi-Wen Lung, 2016)

Mediante el uso de esta cámara de bajo costo con sistema 3D láser de línea es posible detectar y medir de manera efectiva de la profundidad de rodadura del neumático (Tabla 1). (Chi-Wen Lung, 2016)



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

*Tabla 1. Tabla de Resultados de medición (Chi-Wen Lung, 2016)*

|      | <b>Real (mm)</b> | <b>Esperado (mm)</b> | <b>Error (mm)</b> |
|------|------------------|----------------------|-------------------|
| 1    | 0                | 0.5                  | -0.5              |
| 2    | 0.7              | 0.94                 | -0.24             |
| 3    | 2.6              | 2.33                 | 0.27              |
| 4    | 2.6              | 2.46                 | 0.14              |
| 5    | 2.7              | 2.61                 | 0.09              |
| 6    | 3.6              | 3.26                 | 0.34              |
| 7    | 4                | 3.67                 | 0.33              |
| 8    | 4.9              | 5.02                 | -0.12             |
| 9    | 5.1              | 4.91                 | 0.19              |
| 10   | 5.5              | 5.76                 | -0.26             |
| 11   | 6                | 5.95                 | 0.05              |
| 12   | 6                | 5.64                 | 0.36              |
| 13   | 6.1              | 6.48                 | -0.38             |
| 14   | 6.2              | 6.57                 | -0.37             |
| 15   | 6.8              | 6.9                  | -0.1              |
| 16   | 7                | 6.65                 | 0.35              |
| 17   | 7                | 7.09                 | -0.09             |
| máx. |                  |                      | 0.36              |
| min. |                  |                      | -0.5              |

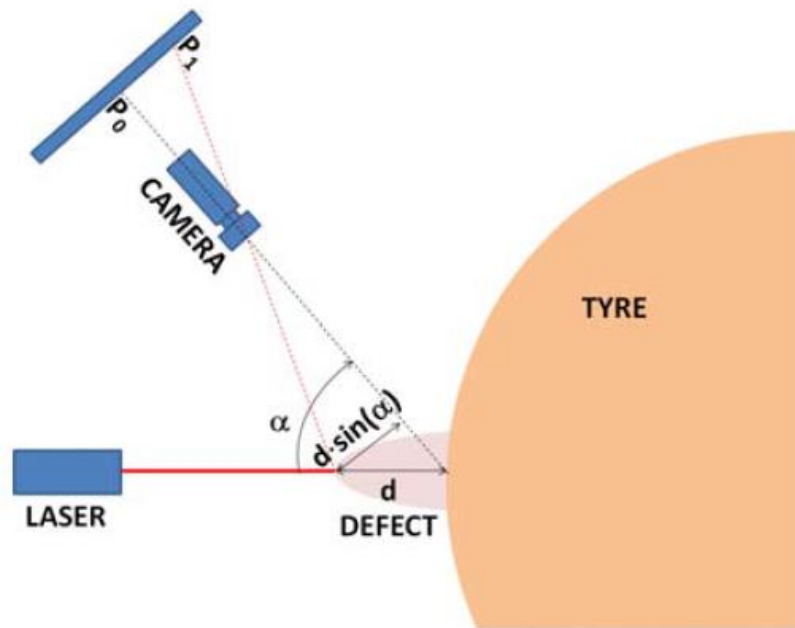
## **2.- Escáner láser flexible y de bajo costo automático para Inspección de neumáticos**

Este trabajo propone utilizar una cámara y un emisor láser que no estén montados dentro del mismo estuche, sino que estén montados por separado para tener un mayor ángulo de visión y de esta manera poder medir toda la superficie del neumático.

El sistema propuesto está integrado por una cámara en blanco y negro con alta sensibilidad equipada con un lente de 8 mm, línea láser de 635 nm, 10 mW y una interfaz. El sistema es capaz de adquirir y procesar en tiempo real un máximo de 60 perfiles/segundo.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

La variación en la altura de la superficie del neumático produce un desplazamiento de la línea láser proyectada, la sensibilidad del desplazamiento dependerá críticamente del ángulo  $\alpha$ , entre el eje óptico y la cámara en ángulo. Para este arreglo la resolución máxima es obtenida cuando  $\alpha = 90$  grados (cámara paralela a la superficie). Por otro lado, la máxima visibilidad de la línea para la cámara es obtenida a  $\alpha = 0$  grados (cámara ortogonal a la superficie), por lo tanto, se debe buscar un balance entre ambos, en este caso para la inspección un valor de  $\alpha$  entre 60 y 90 grados es adecuado (ver Figura 11).



*Figura 11. Esquema para calcular la sensibilidad del sistema (Frosio, Borghese, Tirelli, Venturino, & Rotondo, 2011)*

La calibración se necesita para establecer los parámetros adecuados de la cámara y configurar los parámetros geométricos para derivar medidas métricas. La calibración es uno de los pasos más críticos para obtener una alta precisión y debe realizarse cada vez que se hagan cambios en la configuración de los parámetros geométricos y se produzca un cambio en la condición de iluminación.

Para la optimización de la cámara se analizó la transformación a partir del número de fotones entrantes,  $x$ , a la salida de nivel de gris ( $g$ ). La optimización de la cámara dependerá de dos parámetros: el desplazamiento ( $o$ ) y la ganancia ( $G$ ).

El valor óptimo de  $G$  y  $O$  producen la separación deseada entre la línea láser y el fondo de la imagen. Con esta configuración la línea se vuelve más visible para poder identificar los puntos pertenecientes a la línea láser y minimizar el riesgo de error. (Frosio, Borghese, Tirelli, Venturino, & Rotondo, 2011)

$$g(o) = G(x - O)$$

Una vez optimizado el sistema por medio de la calibración es posible reconstruir el perfil de cualquier línea láser observada por la cámara. La determinación del perfil se realiza por medio del método de Otsu, mediante un algoritmo automático binario de imágenes que asume que la imagen contiene dos clases de píxeles. El umbral óptimo se calcula separando las dos clases de píxeles (Otsu, 1979).

A continuación, se presenta la fórmula del método de Otsu, donde  $\omega_1(t)$  y  $\sigma_1(t)$  son respectivamente la probabilidad y la varianza, y  $t$  se refiere al umbral que se utiliza para binarizar la imagen.

$$\sigma_w^2(t) = \omega_1(t)\sigma_1^2(t) + \omega_2(t)\sigma_2^2(t)$$

Para este trabajo se realizaron 2 tareas de inspección: la primera para identificar los defectos de extrusión de la banda de rodadura y la segunda para medir la longitud de la banda de rodadura de los neumáticos. En ambos casos la cámara y el láser se colocaron a 0.5 m del objeto a un ángulo  $\alpha$  de aproximadamente 60 grados.

La imagen del neumático después de establecer el umbral de acuerdo con el procedimiento de (Otsu, 1979) se muestra en la Figura 12. Las regiones blancas se deben a que las pruebas fueron realizadas en un lugar sin control de iluminación. Sin embargo, esto no afecta la región de estudio mostrada en el cuadro azul.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*



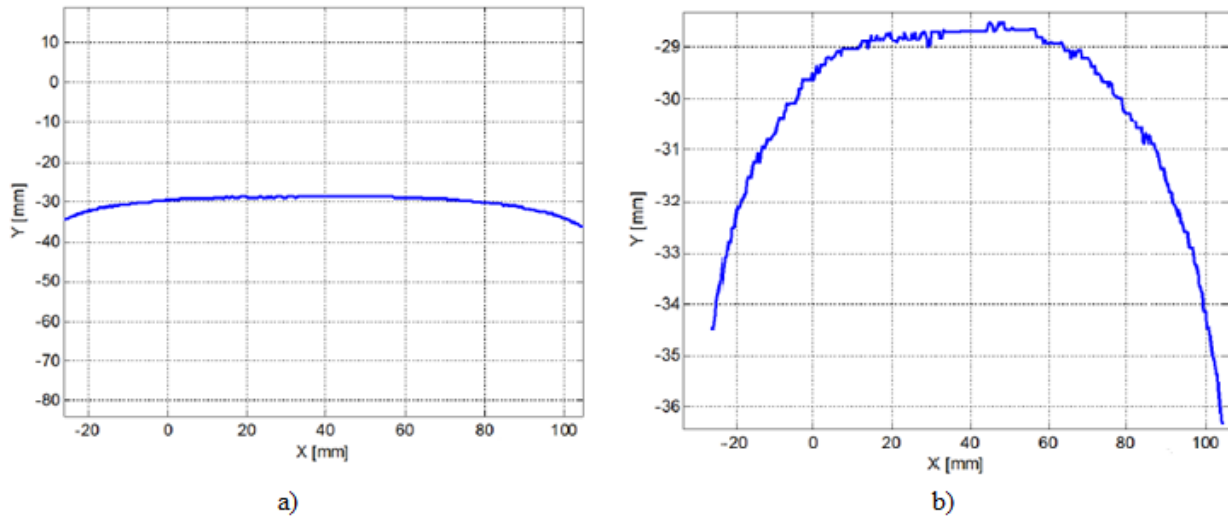
*Figura 12. Imagen de neumático identificada de acuerdo con procedimiento de Otsu (Frosio, Borghese, Tirelli, Venturino, & Rotondo, 2011)*

La Figura 13 (a) muestra el perfil cuando se adopta el esquema de interpolación de tercer grado para regularizar la forma del perfil, mientras que la Figura 13 (b) muestra un acercamiento del perfil reconstruido.

Esta aplicación se basa principalmente en tener ángulo correcto de visión, ya que con el ángulo adecuado se puede abarcar casi toda la superficie del neumático con suficiente precisión.

El montaje de la cámara y el láser garantiza la mayor flexibilidad. El sistema se puede inclinar en varios ángulos para encontrar la mejor configuración; en conclusión, es posible emplear este tipo de aplicación en la industria ya que al tener separado la cámara y el láser se tendrá un mayor ángulo de visión.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*



*Figura 13. a) Reconstrucción del perfil; b) Acercamiento del perfil reconstruido (Frosio, Borghese, Tirelli, Venturino, & Rotondo, 2011)*

El análisis de estos trabajos comprueba que intentos para resolver estos problemas ya fueron realizados con anterioridad, por lo que el desarrollo de una alternativa similar se considera posible, ya sea utilizando como base alguno de los trabajos aquí analizados o desarrollando uno diferente, adaptado a las necesidades de la empresa. (Frosio, Borghese, Tirelli, Venturino, & Rotondo, 2011)

## 1.8 Pregunta de investigación

Después de analizar las necesidades de la industria, el proceso de elaboración de llantas y los problemas que se presentan en este proceso surge la pregunta siguiente:

*¿Es posible sustituir el método de inspección visual utilizado actualmente por un sistema automatizado que permita detectar los defectos exteriores del neumático?*

Con la finalidad de explorar las posibilidades y alternativas para la resolución de este problema, a continuación, se analizan algunos trabajos que fueron desarrollados con propósitos similares.

## 1.9 Hipótesis

Este trabajo contempla una hipótesis de trabajo de investigación de tipo exploratoria para dar una explicación al tema de estudio en base a conocimientos existentes y esta será aceptada o rechazada en base a los resultados obtenidos. La hipótesis que rige este trabajo es:

*“La implementación de un sistema de inspección automático permitirá detectar, de manera confiable y precisa, los defectos estéticos por exceso de material en neumáticos, mejorando con esto el sistema de inspección actual”.*

## 1.10 Objetivos

Basados en todo lo anterior, para este trabajo de tesis se establecen los siguientes objetivos.

### **Objetivo General**

El objetivo general establecido para este trabajo es el siguiente:

*“Desarrollar un sistema de inspección automático para la detección de imperfecciones por exceso de material en la elaboración de los neumáticos con la finalidad de asegurar que productos con este tipo de defectos no lleguen al consumidor final”.*

**Objetivos específicos:**

- Seleccionar la tecnología adecuada para implementar un sistema de inspección automático.
- Desarrollar un sistema automático para identificar rebabas mayores a 1mm en el costado inferior y superior de los neumáticos.
- Evaluar el sistema automático para realizar una comparación con el sistema de inspección utilizado actualmente.

**Beneficios esperados con este trabajo**

El sistema automático proporciona los siguientes beneficios:

- **Confiabilidad:** Se logrará mediante la identificación y medición de la rebaba en áreas específicas del neumático, lo cual tendrá como resultado una disminución de errores de operación en el proceso.
- **Eficiencia:** A través de la disminución de los tiempos de ciclo de inspección y la automatización de tareas repetitivas.
- **Económicos:** El automatizar este proceso evita que se generen gastos extraordinarios por retrabajos dentro y fuera de la compañía, también permite reducir costos de operación ya que el sistema de visión sustituye al operador al momento de clasificar los neumáticos.
- **Calidad:** Asegurar la detección oportuna de los defectos estéticos en la superficie del neumático.

## 1.11 Alcance

Este trabajo de tesis está dirigido a la industria de la fabricación de neumáticos, esto con la finalidad de mejorar los actuales procesos de inspección.

El alcance de este trabajo se limita únicamente a los modelos de neumáticos que son producidos en una planta de neumáticos de la ciudad de San Luis Potosí. El modelo que será base de este trabajo tiene las siguientes medidas:

- Diámetro exterior: 620 mm
- Diámetro interior: 406 mm
- Ancho de la sección: 200 mm

Este neumático es uno de los que actualmente representa más problemas debido a su proceso de vulcanización por lo que este será el modelo de estudio.

El propósito final es desarrollar un dispositivo automático de detección a nivel prototipo que demuestre que se tiene una mejora significativa en el proceso de inspección. El nivel de mejora se determinará al momento de determinar los indicadores para la evaluación del resultado de este trabajo.

## 1.12 Limitaciones

Solo se contempla realizar la inspección de los desperfectos por exceso de material (rebaba) en el costado inferior y superior del neumático, descartando cualquier otra parte del neumático.



## **Capítulo 2: Desarrollo del sistema de inspección automático para la identificación de rebaba en los neumáticos**

Este proyecto de tesis se realizó en base a un estudio donde se encontró que uno de los factores más importantes de retrabajo y rechazo de clientes son los desperfectos estéticos de los neumáticos. Con este estudio se pretende mejorar el método de inspección actual al sustituirlo por uno automático.

El desarrollo de este proyecto, así como la recolección de los datos se realizó dentro de las instalaciones de una planta manufacturera de neumáticos. Los datos recolectados se hicieron por medio de la observación directa y bases de datos de la línea de producción.

En este capítulo se presenta la propuesta metodológica para el desarrollo del sistema automático de inspección. La parte innovadora del trabajo de tesis es la adecuación de una metodología desarrollada para desarrollo de software y diseño mecánico, adaptada a las necesidades de diseño de sistemas automatizados.

### **2.1 Metodología**

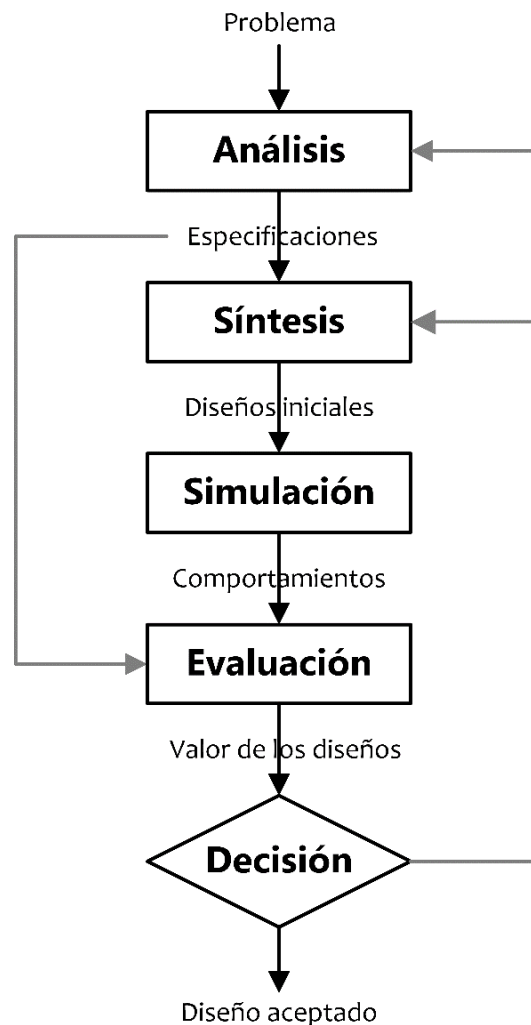
La metodología propuesta es de tipo experimental, en donde se pretende detectar desperfectos por exceso de material en la elaboración de neumáticos mediante el diseño de un sistema de inspección automático. El diseño y construcción del sistema, así como el estudio, se realizará dentro de las instalaciones de una planta manufacturera de neumáticos tomando como referencia un solo modelo de neumáticos.

Las actividades de investigación se estarán alineando en la Metodología de diseño de máquinas, la cual se clasifica en metodologías descriptivas y prescriptivas.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

La metodología descriptiva describe la secuencia de actividades que ocurren dentro del diseño y se basa en la experiencia previa, tiene un enfoque más abierto y flexible a la espontaneidad al momento de seguir las etapas de diseño.

La Figura 14 muestra un ejemplo de diseño en base la propuesta de (Roozenburg & Eekels, 1995).



*Figura 14. El ciclo básico de diseño. (Roozenburg & Eekels, 1995)*

La metodología prescriptiva enfatiza más en la necesidad de un trabajo analítico para llegar a la generación de soluciones, hace énfasis en la identificación y comprensión

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

del problema de diseño, sigue una secuencia de manera más pautada durante las actividades de diseño. La Figura 15 muestra un ejemplo de diseño en base a la norma alemana.

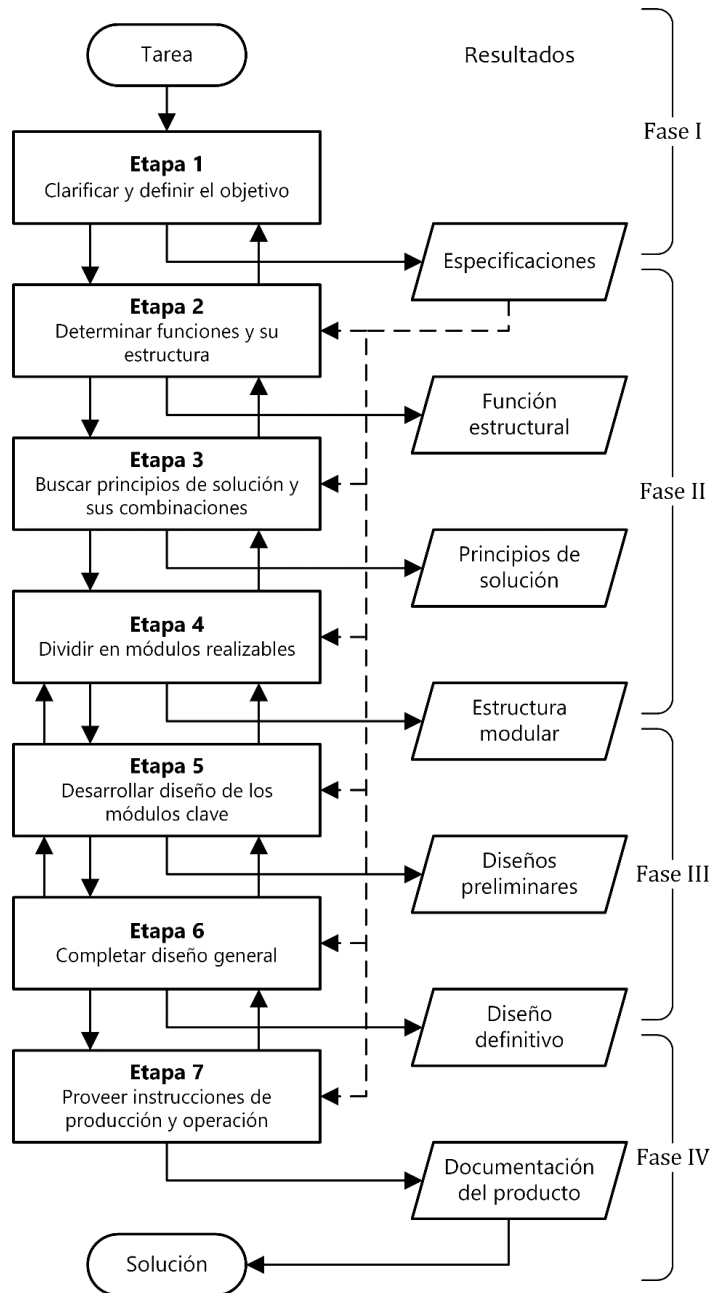


Figura 15. Estructura de diseño según la norma alemana VDI 2221 (Blanco Romero, 2018)

La prescriptiva lleva una secuencia en las actividades a seguir durante el diseño. Se divide en dos:

- **Modelo de fases:** Organiza el proceso de diseño en etapas y recomienda una secuencia para poder llevarlas a cabo.
- **Modelos de producto o artefacto:** Se enfoca en el diseño final del producto y su uso a nivel práctico es bastante limitado.

Este proyecto se estará basando en la metodología prescriptiva del modelo de fases, debido a que tiene bien definidas las etapas del diseño, así como los entregables que se necesitan para el diseño de máquinas y/o sistemas.

## 2.2 Propuesta metodológica

Para el diseño del sistema se ha seleccionado seguir la metodología del ciclo de diseño de espiral de (Ullman, 2010) que contiene las etapas de definición, concepto, desarrollo y evaluación y se va repitiendo hasta obtener el diseño definitivo. Con el objetivo de entender el proceso que se seguirá para este trabajo, a continuación, se presenta una breve descripción de esta.

De acuerdo con Ullman, el espiral de desarrollo de proyectos comienza en el centro y cada vuelta corresponde a una etapa de desarrollos de un proyecto de diseño mecánico. Así, por ejemplo, en la Figura 16 se presenta un caso en donde se inicia con los requisitos iniciales y avanza a través de conceptos a prototipos funcionales y simulaciones; si la evaluación de estos no cumple con los requisitos iniciales, se pasa a una nueva espiral donde se replantean los requerimientos y se prueba con otro prototipo. Este ciclo se repite hasta alcanzar un diseño final. Esta metodología de diseño se utiliza muy comúnmente para el desarrollo de software y diseño mecánico.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

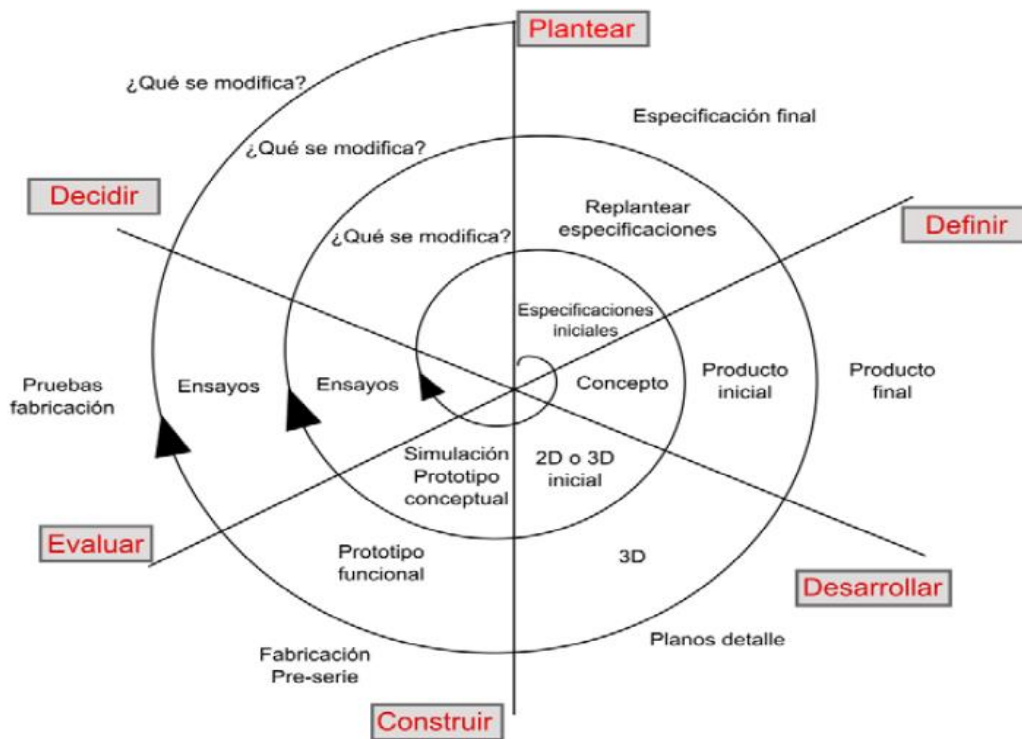


Figura 16. Espiral de desarrollo de proyectos de diseño mecánico de Ullman (Blanco Romero, 2018)

Las características principales del proceso espiral son:

- Enfoque iterativo, permite que cada tarea se revise durante cada espiral.
- Los requerimientos se pueden volver a evaluar en cada espiral.
- El diseño conceptual, preliminar y de materialización pueden ser mejorados en cada espiral.

**1.- Plantear.** Esta etapa es muy común dentro de los proyectos de diseño de máquinas, durante esta fase se definen tareas como la planificación del proyecto o la decisión de que producto fabricar, basado las especificaciones iniciales que el diseño deberá cumplir.

Durante esta se toman las decisiones sobre el objetivo y las funciones de la máquina a diseñar basados en las necesidades de los clientes. El resultado de esta fase es un documento con las especificaciones de diseño. De acuerdo con (Riba Romeva, 2002) se define como:

*“Conjunto de determinaciones, características o prestaciones, completo y suficiente, que ha de fundamentar y guiar el diseño del producto en todas las etapas posteriores.”*

Según Riba las especificaciones se dividirán en dos:

- *Requisito (R)*: especificación necesaria, obligatoria para cumplir con el objetivo.
- *Deseo (D)*: es una especificación que no es obligatoria para lograr el objetivo de la máquina, pero mejoraría ciertos aspectos de esta.

**2.- Definición.** Partiendo de las especificaciones, en esta etapa se tendrá como resultado el diseño conceptual y los principios tecnológicos de funcionamiento del sistema y/o máquina. Esta fase es la primordial ya que aquí comienza el proceso de diseño para obtener un diseño conceptual. Durante esta etapa se determinan las estructuras físicas adecuadas, se puede modificar o incluir algún requerimiento en el documento de las especificaciones.

**3.- Desarrollar.** Partiendo del diseño conceptual resultado de la etapa anterior, se aplicarán los principios tecnológicos planteados y se elaborará un diseño preliminar de la máquina y/o sistema. Esta permite obtener una visión general del proceso de fabricación a seguir para el diseño ya que se contemplarán formas, dimensiones y materiales.

- 4.- Construir.** En esta etapa se elaborará un prototipo en base al diseño conceptual. Con los resultados de la etapa anterior (dibujos, cálculos, manuales) se procederá con la construcción física hasta obtener el diseño final.
- 5.- Evaluar.** Esta etapa se basa en la recolección de datos y en evaluar a fondo el proceso de medición. Después de recolectar los resultados se procederá a seleccionar las herramientas estadísticas adecuadas para definir los efectos principales que se tienen sobre la variable de estudio.
- 6.- Decidir.** Mediante los resultados obtenidos en la etapa anterior se tomará la decisión de que es lo que se necesita modificar del modelo hasta obtener el diseño final.

### 2.3 Adaptación del modelo de Ullman para la construcción del dispositivo automático de detección de errores.

La adaptación del modelo de espiral de Ullman propuesto en este trabajo para la generación de prototipos fue nombrada “Metodología multietapas para el desarrollo de prototipos” y consiste en definir, para cada etapa, un entregable. La espiral tendrá tantas vueltas como entregables se tengan para el proyecto deseado, pero, en este caso particular, se propone la definición de dos vueltas. El primer nivel o vuelta refiere a la realización de un prototipo virtual y el segundo a la construcción del prototipo final.

Cada uno de los niveles está conformado de manera secuencial por 6 fases que tienen una interacción directa entre cada una de ellas. Para cada una de las actividades, se propone la integración de actividades de diseño que estén acorde con ellas.

En la Figura 17 se muestra el modelo adaptado propuesto y, posteriormente, se presenta la justificación de la adaptación para cada una de las actividades.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

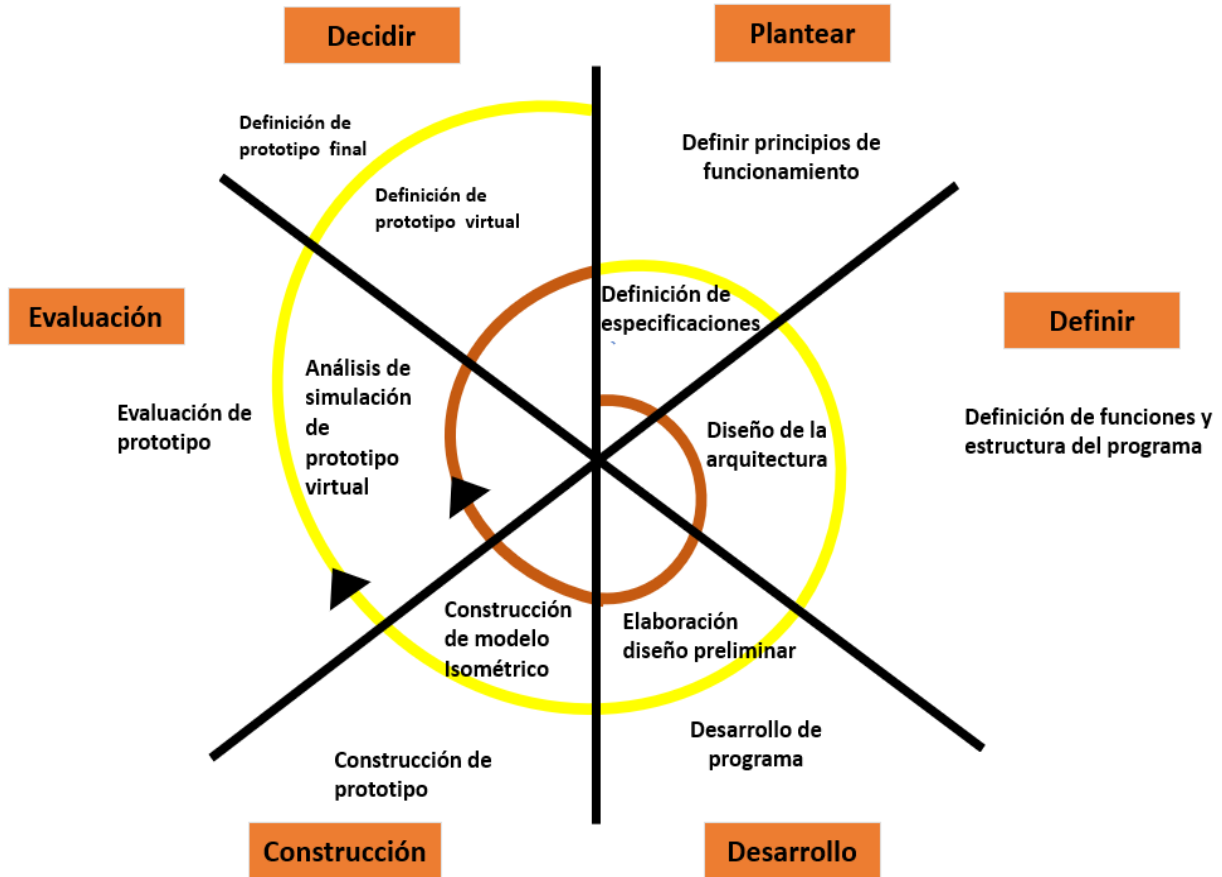


Figura 17. Metodología multietapas para el desarrollo de prototipos. Fuente: Elaboración propia.

## **Nivel 1**

### **Prototipo Virtual**

El objetivo de la primera espiral es obtener un prototipo virtual el cual consta de un diseño asistido por computadora, basado en una lista de especificaciones previamente definida. Mediante este se podrán detectar las mejoras necesarias antes de construir el prototipo físico.



## **Fases del nivel 1**

### **1.- Definición de especificaciones**

En esta fase se describen las especificaciones que el diseño debe cumplir, teniendo en cuenta las necesidades de los diferentes departamentos como producción, mantenimiento y calidad. Se deberán contemplar aspectos generales y específicos de la máquina.

Para la definición de las especificaciones, los autores como (Roozenburg & Eekels, 1995) describen procedimientos para la generación y documentación de las especificaciones como el método QFD (*Quality function deployment*). Sin embargo, autores como (Pugh, 1990), (Pahl & Beitz, 2013) y (Ullman, 2010) recomiendan seguir una lista de referencia de especificaciones (hoja de verificación), clasificadas en diferentes categorías debido a su sencillo manejo. Esta herramienta se recomienda para poder considerar todos los departamentos involucrados.

En la Tabla 2, se muestra una lista propuesta por (Blanco Romero, 2018) donde enlista los requerimientos básicos que se debe considerar para elaborar el documento de las especificaciones.

Una hoja de verificación es una herramienta que ayuda a comprobar de una forma ordenada y sistemática el cumplimiento de los requisitos que contiene la lista. El propósito de esta herramienta es ser una técnica de fácil uso y de interpretación. La hoja de verificación permite detectar, eliminar errores y recoger información para su posterior análisis. Esta herramienta se puede utilizar en cualquier sector y para cualquier actividad.

Para enlistar las especificaciones del sistema propuesto en este proyecto se utilizará la técnica de la hoja de verificación propuesta (Blanco Romero, 2018) ya que esta abarca todo lo necesario para el diseño de una máquina y/o sistema de manera sencilla.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

El método QFD (Chan & Wu, 2002), es una de las herramientas más usadas, pero se centra en la creación de productos y no en el diseño de máquinas por lo que no sería la herramienta más adecuada para el trabajo propuesto.

*Tabla 2. Lista de referencia para las especificaciones del producto (Blanco Romero, 2018). Fuente:  
Elaboración Propia.*

| <b>LISTA DE REFERENCIA DE ESPECIFICACIONES</b> |   |
|--|---|
| <b>CATEGORÍA</b>                               | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
| Función  | Descripción de las funciones principales, ocasionales y accidentales del producto.<br>Secuencia de operaciones.   |
| Dimensiones                                    | Espacios, volúmenes, masas, longitud, anchura, altura, diámetros; número y disposición de elementos, extensiones.   |
| Movimientos                                    | Tipos de movimiento; desplazamientos, tiempos; trayectorias, velocidades y aceleraciones.   |
| Fuerzas  | Magnitud, dirección y sentido de las fuerzas y momentos; frecuencia, desequilibrios, rigidez, deformaciones admisibles.   |
| Energía  | Flujos de energía; accionamientos y otros conversores: alimentación y control; transmisiones; potencia y rendimiento.   |
| Materiales                                     | Flujos, transporte, transformación y propiedades de materiales. Materiales a utilizar, limitaciones, preferencias; condicionantes de mercado.   |
| Señales y control                              | Flujos de información, inputs/outputs, sensores, actuadores, sistema de control, interfaz con usuario.  |
| Fabricación y montaje                          | Volumen previsto de producción y cadencia en el tiempo; limitaciones y preferencias en procesos y equipamiento, calidad, tolerancias; variantes del producto, flexibilidad en la fabricación. |
| Transporte y distribución                      | Embalaje y medios: dimensiones, masas, orientación, golpes, entrega. Instalación y puesta a punto.  |
| Vida útil                                      | Operaciones, usos especiales, desgaste, ruido, vibraciones, ambiente de trabajo, vida prevista, fiabilidad.   |
| Mantenimiento                                  | Intervalos de servicio, inspecciones, mantenimiento predictivo, limpieza, criterios sobre recambios.  |
| Costes   | Costes de desarrollo, fabricación y utillaje, inversión inicial, depreciación.  |

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Plazos                | Plazos de desarrollo, entrega y lanzamiento.  |
| Seguridad y ergonomía | Sistemas y dispositivos de seguridad, seguridad ambiental.<br>Interacción con el usuario: operación, confort, aspecto, iluminación. |
| Impacto ambiental     | Consumos de energía y materiales; limitaciones en el impacto ambiental en la fabricación, utilización y fin de vida.                |
| Aspectos legales      | Cumplimiento de normativas, evitar patentes. Homologaciones, certificaciones.   |

## **2.- Diseño de la arquitectura**

En esta fase se define la arquitectura necesaria del sistema, especificando las distintas partes del sistema, ubicación y lógica mediante una representación gráfica.

El diagrama de arquitectura se define como un esquema gráfico, que representa cada uno de los elementos del programa y los relaciona mediante líneas o flechas. El objetivo del diagrama es ofrecer una visión gráfica que identifica las diferentes partes que componen el sistema.

## **3.- Elaboración de diseño preliminar**

Fase de diseño donde se establecen las estructuras físicas adecuadas del producto y los principios de funcionamiento. Durante esta fase se determinan las estructuras físicas y se combinan para obtener la estructura final y los materiales que definirá el concepto.

## **4.- Construcción de modelo isométrico**

El objetivo de esta fase es realizar un modelo 3D el cual consiste en una representación gráfica de cualquier objeto tridimensional a través de un software especializado.

Los modelos 3D muestran un objeto tridimensional usando un conjunto de puntos en el espacio, esto están conectados por líneas, triángulos, curvas.

Los modelos 3D se dividen en 2 categorías:

- **Sólidos.** Estos representan el volumen del objeto, estos modelos son muy apegados a la realidad, pero son más complejos de construir.
- **Carcasa/contorno.** Estos modelos representan la superficie, es decir muestra el contorno de un objeto sin volumen.

Hoy en día los modelos 3D son ampliamente usados en diferentes industrias como la medicina, ingeniería y ciencias.

Para realizar el modelo del sistema, se utiliza un software para modelado mecánico en 3D, en donde se va a detallar cada uno de los componentes que conforman el sistema. Este modelo ayudará a evaluar si el diseño del sistema es el más adecuado.

### ***5.- Análisis de simulación de prototipo virtual***

La simulación es una representación analítica mediante herramientas matemáticas y computacionales. También se define a la simulación como una animación del modelo 3D, este proceso es complejo y depende del diseño en 3D y el modelado. El modelado consiste en dar forma a objetos de manera individual. La animación consiste en la deformación y/o movimiento de los objetos durante un periodo de tiempo.

La animación es muy importante ya que permite simular el proceso del sistema propuesto y ayuda a evaluar si los materiales y el diseño son los más adecuados.

Para esta fase de simulación del prototipo virtual, se tendrá como base la metodología de Ullman sobre los elementos básicos del diseño de materialización.

Mediante una simulación, por medio de diseño asistido por computadora, se analizará el funcionamiento del prototipo virtual y de esta manera se obtendrá una lista potencial de mejoras del diseño.

## **6.- Definición de prototipo virtual**

Para asegurar que el prototipo virtual cumple con las especificaciones definidas anteriormente, se realiza un análisis de las especificaciones de cada uno de los departamentos para verificar el cumplimiento de cada una de ellas con la finalidad de ver que no existe alguna omisión de las especificaciones.

### **Nivel 2**

#### **Construcción del prototipo**

El objetivo de la segunda espiral es la construcción física y evaluación del prototipo final, así como la definición del funcionamiento de este.

#### **Fases del nivel 2**

##### **1.- Definir principios de funcionamiento**

El principio de funcionamiento es el modo en que el sistema y/o máquina van a realizar sus funciones bajo las cuales fueron diseñados como: manual, automático, y funciones especiales.

Para saber los principios se recopilará la información de los diferentes usuarios mediante una tabla la cual contendrá los principios de funcionamiento necesarios, los encargados de realizar este cuestionario serán los usuarios de cada departamento interesado.

## **2.- Definición de funciones y estructura del programa**

Se definen las funciones básicas que debe realizar el sistema, tanto en modo automático como manual, considerando características como: corrección, usabilidad, flexibilidad y los requerimientos de los diferentes departamentos. Las funciones básicas son aquellas que van a permitir el funcionamiento y deben cumplir con los requisitos de los diferentes departamentos para que el sistema sea de fácil manejo.

## **3.- Desarrollo de Programa**

La metodología usada refiere a un entorno de trabajo y este es usado para estructurar y controlar el proceso de desarrollo del software. Los marcos de trabajo tienen como objetivo ofrecer una funcionalidad definida.

La programación está basada en diagramas de bloques, la cual describe la función entre las variables de entrada y de salida. se va a desarrollar el programa de software, el cual estará basado en los principios antes definidos. El objetivo de esta fase es que el programa cumpla al 100% los principios de funcionamiento definidos.

## **4.- Construcción de prototipo**

En esta fase se procederá a la construcción del prototipo del sistema propuesto. Se tomará como referencia el prototipo virtual resultado de la espiral 1 como referencia para su fabricación

La manufactura de este prototipo se llevará a cabo dentro de las instalaciones de una empresa encargada de fabricar de neumáticos y para su realización se necesitará el soporte de personal calificado para realizar diferentes actividades.

Para el montaje de los sensores se van a requerir accesorios con los que se pueda realizar un ajuste en el eje x, y.

La comunicación del sistema será por medio de ethernet y con 24 VDC de alimentación, para la visualización del sistema se requiere un monitor. Para el diseño del programa encargado de controlar las tareas del sistema se va a utilizar un programa especializado en visión que contendrá las herramientas necesarias.

### **5.- Evaluación de prototipo**

Para evaluar la variable de salida se utilizará la herramienta MSA (Measure system Analysis), (Company, Raytheon, 2003). La explicación de esta herramienta se presentará más adelante, en la sección “Definición de indicadores”.

### **6.- Definición de prototipo final**

Proceso de análisis de los datos obtenidos en los ensayos y mediante el resultado de estos se tomará la decisión de lo que se necesita modificar hasta obtener el diseño final.

## **2.4 Indicadores**

Los indicadores de cada una de las partes del proyecto se limitan al cumplimiento de los entregables en cada una de las fases de la metodología propuesta.

Para el primer nivel de la espiral, el objetivo es el cumplimiento al 100% del desarrollo de las especificaciones del proyecto por los departamentos de: Calidad, Mantenimiento, Industrial, Producción, Procesos y Seguridad.

Durante esta fase también se tendrá como entregable el diseño preliminar del sistema, el modelo CAD y la simulación del sistema.

En el segundo nivel de la espiral se tiene la fase de análisis del prototipo construido, durante esta fase se identificará las variables a medir y posteriormente se analizarán mediante herramientas estadísticas.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Finalmente se tendrá como entregable un prototipo construido con el cumplimiento al 100% de las acciones propuestas durante la evaluación.

De acuerdo con el entregable de la segunda espiral, para evaluar la variable de salida del prototipo se utilizará la herramienta MSA (Análisis de Sistema de Mediciones, por sus siglas en inglés), (Company, Raytheon, 2003). Este manual describe los lineamientos de forma general para que sean usados en cualquier sistema de medición en el mundo industrial. El objetivo de estudiar un sistema de medición es obtener información sobre las variaciones que el sistema tiene cuando este interactúa en su medio ambiente.

Para poder evaluar el sistema propuesto de inspección para la detección de la rebaba en neumáticos se van a realizar estudios estadísticos para analizar la variación. Los estudios deben centrarse en características críticas o especiales del producto y/o proceso.

Para seleccionar el tipo de estudio de medición que se debe de realizar se diseñó el siguiente diagrama de la Figura 18.



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

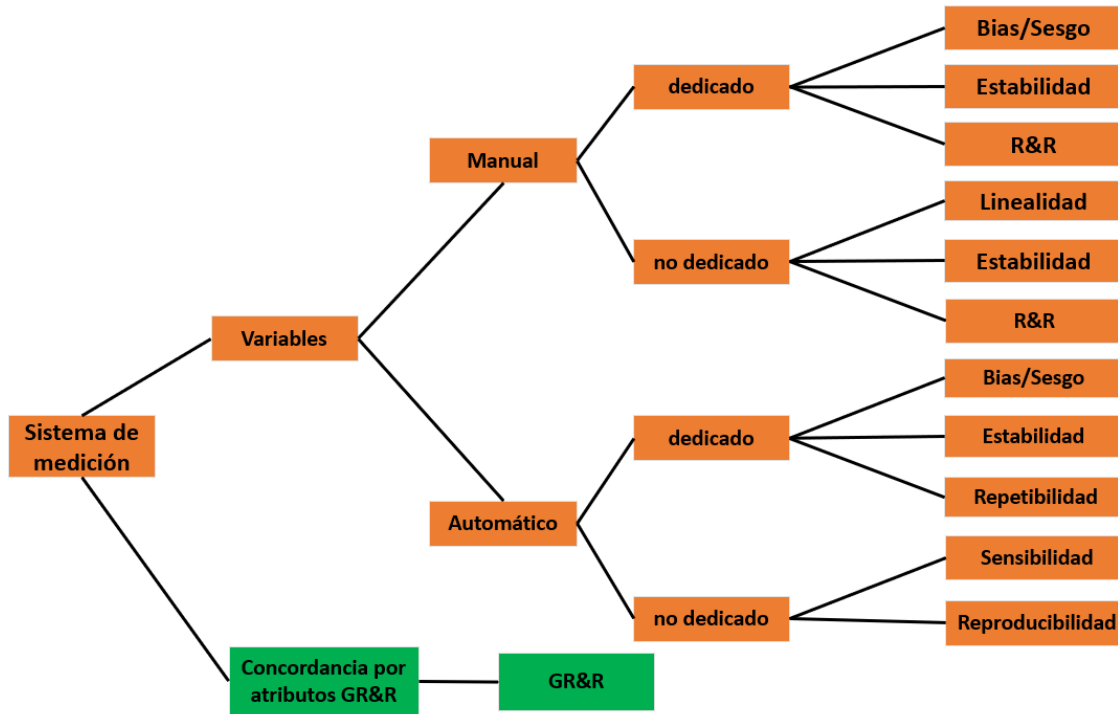


Figura 18. Selección de estudios para la evaluación del sistema de medición. Fuente: elaboración propia.

Para poder hacer una comparativa de la efectividad del actual sistema de inspección visual con el sistema propuesto, se propone realizar un estudio de concordancia por atributos de aceptación o rechazo de acuerdo con la Figura 18 para evaluar la concordancia de las clasificaciones realizadas por múltiples evaluadores y de esta manera poder evaluar la confiabilidad del sistema.

En caso de que las mediciones se efectúen de manera automática como el sistema propuesto, las máquinas o accesorios sustituyen a los evaluadores. La evaluación por atributos se realiza mediante el cálculo del coeficiente de kappa de cohen y la eficacia.

La Tabla 3 muestra los criterios de aceptación del estudio de concordancia por atributos GR&R.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Tabla 3. Valores mínimos de kappa y efectividad para un estudio por atributos. Fuente: Elaboración Propia.

| Kappa (K)   | % Eficacia |  |
|-------------|------------|--|
| ≥ 0.75      | ≥ 90%      | El sistema de medición es aceptable  |
| 0.40 - 0.75 | 80% - 90%  | El sistema de medición puede ser Aceptable, dependiendo de la aplicación y propósito                             |
| < 0.40      | < 80 %     | El sistema de medición necesita mejoras esfuerzos para identificar y corregir los problemas que deben iniciarse. |

De igual manera para equipos de medición o sistemas de medición nuevos y/o modificados se debe realizar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad, también llamado estudio GR&R, este estudio se basa siempre en el ancho de tolerancia del producto o parámetro del proceso y debe realizarse bajo condiciones normales de operación.

A continuación, la Tabla 4 muestra los criterios de aceptación del estudio Gage R&R de acuerdo con el manual del Análisis del Sistema de Mediciones o MSA. (Company, Raytheon, 2003). Estos criterios no aplican para sistemas de medición en los que existan cambios como temperatura, para estos casos el %GRR aceptable es de 20%.

Tabla 4. criterios del estudio GR&R. Fuente: Elaboración Propia.

| % GRR    |  |
|----------|--|
| 0 - 10%  | El sistema de medición es aceptable  |
| 10 - 30% | El sistema de medición puede ser aceptable, dependiendo de la aplicación o propósito                             |
| > 30%    | El sistema de medición necesita mejoras. Esfuerzos para identificar y corregir los problemas que deben iniciarse |

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Con la finalidad de ver la variabilidad de las mediciones únicamente del sistema propuesto se va a realizar estudio GR&R sin influencia del operador ya que el sistema es automático. Este estudio no se aplica al sistema de inspección actual ya que este se realiza por atributos. Para realizar este estudio se deben seleccionar 25 partes de la producción rutinaria en serie. Estas partes deben ser representativas de la producción normal y la mitad debe estar dentro de la tolerancia o simplemente fuera de la tolerancia, con muestras divididas entre el límite superior e inferior.

Para la realización de los estudios se coleccionarán las mediciones del dispositivo de diferentes turnos de producción y diferentes semanas. Esto con la finalidad de ver el comportamiento del sistema de medición con respecto del tiempo.

## 2.5 Cronograma de implementación

Como parte de la planeación de la propuesta y la realización de las actividades del proyecto se plantea el siguiente cronograma, el cual establece un periodo de tiempo considerable, de 8 meses, esto debido a que, por diferentes circunstancias, la ejecución puede llegar a ser lenta debido a que depende de factores como disponibilidad de capital monetario, disponibilidad del personal, factibilidad de la propuesta y tiempo de entrega de los equipos por parte de los proveedores.

En la Figura 19 se muestra el cronograma que se estimó para realizar cada una de las fases, como se puede observar, las fases de aprobación, diseño de prototipo virtual y construcción del prototipo son considerablemente más extensas que el resto de los demás.

| Número de Tarea | Terminación (%) | Status | Sistema de inspección automático para la detección de imperfecciones | Responsable                | Comienzo (dd.mm.yy) | Finalización (dd.mm.yy) |
|-----------------|-----------------|--------|--|----------------------------|---------------------|-------------------------|
|                 |                 |        | Tareas/Actividades   |                            |                     |                         |
| 1.0             |                 |        | Actividad  |                            | 00/01/00            | 00/01/00                |
| 1.1             | 100%            |        | Definición de especificaciones                                       | Departamentos involucrados | 05/01/19            | 01/02/19                |
| 1.2             | 100%            |        | Selección de la tecnología   | Equipo/ P.Perera           | 01/02/19            | 07/03/19                |
| 1.3             | 100%            |        | Aprobación de proyecto   | Jefatura                   | 07/03/19            | 20/03/19                |
| 1.4             | 100%            |        | Diseño de prototipo virtual  | P.Perera                   | 20/03/19            | 14/05/19                |
| 1.5             | 100%            |        | Construcción de prototipo  | P.Perera                   | 14/05/19            | 08/07/19                |
| 1.6             | 100%            |        | Evaluación del prototipo   | Equipo/ P.Perera           | 08/07/19            | 01/09/19                |
| 1.7             | 100%            |        | Presentación de resultados   | P.Perera                   | 01/09/19            | 21/09/19                |

Figura 19. Cronograma de actividades para la ejecución del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

## **Capítulo 3. Evaluación del sistema de inspección desarrollado en una línea de producción**

Como se comentó en los capítulos anteriores, los desperfectos estéticos en los neumáticos es uno de los factores más importantes de retrabajo y rechazo de clientes de una planta manufacturera de neumáticos. La característica que más contribuye al rechazo es la rebaba, actualmente el 65% de la producción diaria tiene este desperfecto estético.

Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es la identificación de rebabas en los neumáticos de manera automática, mediante la metodología de diseño de la espiral de Ullman (2010) propuesta en el capítulo anterior.

La metodología propuesta para este proyecto esta dividida en 2 niveles, el primer nivel se refiere a realizar un prototipo virtual y el segundo a la elaboración de un prototipo final.

### **3.1 Nivel 1 Prototipo Virtual**

El objetivo es obtener un prototipo virtual basado en una lista de especificaciones previamente definida.

#### ***Fases del nivel 1***

##### ***1.- Definición de especificaciones***

En esta fase se establecen las especificaciones de los departamentos involucrados como Calidad, Ingeniería de proceso, Mantenimiento, Producción, Seguridad y Ergonomía.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

El listado de requerimientos para la definición de las especificaciones contiene una serie de categorías básicas para considerar durante el diseño de un producto y de esta manera no omitir ningún punto que pueda ser crucial para el desarrollo del prototipo y del producto final.

El llenado de este documento se elaboró con la participación de los encargados de los diferentes departamentos durante varias sesiones.

La Tabla 5, muestra las especificaciones de acuerdo con la lista de referencia para las especificaciones del producto de (Blanco Romero, 2018), en donde cada departamento contempla una serie de categorías las cuales describen los requisitos indispensables y deseables de acuerdo con sus necesidades.

*Tabla 5. Listado de especificaciones generales. Fuente: Elaboración Propia.*

| DEPARTAMENTO DE CALIDAD |                   |           |       |   |
|-------------------------|-------------------|-----------|-------|---|
| No.                     | Categoría         | Requisito | Deseo | Descripción   |
| 1.1                     | Función           | X         |       | Detección de rebabas superiores a 1 mm de altura en el costado del neumático.   |
| 1.2                     | Dimensiones       | X         |       | El sistema debe medir y visualizar la rebaba detectada en mm.   |
| 1.3                     | Movimientos       | X         |       | El neumático debe girar 360° para su completa inspección.   |
| 1.4                     | Fuerzas           | X         |       | El desplazamiento del neumático deber ser en sentido horario.   |
| 1.5                     | Materiales        | X         |       | Los materiales por utilizar no deben sufrir ninguna deformación durante la operación.   |
| 1.6                     | Señales y Control | X         |       | El sistema debe contar con software y hardware para realizar la inspección y la medición de las rebabas, se requiere una interfaz gráfica para visualizar los resultados. |

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

|     |                       |   |  |  |
|-----|-----------------------|---|--|--|
| 1.7 | Fabricación y Montaje | X |  | Sistema flexible para realizar ajustes.  |
| 1.8 | Vida útil             | X |  | Sistema robusto para no perder ajustes, temperatura de operación: 15 °C – 40 °C. |
| 1.9 | Mantenimiento         | X |  | El sistema debe contar con espacios accesibles para realizar el mantenimiento.   |

| DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS |                       |           |       |  |
|--|-----------------------|-----------|-------|--|
| No.                                    | Categoría             | Requisito | Deseo | Descripción  |
| 2.1                                    | Función               | X         |       | El sistema debe ser capaz de hacer una inspección total en el área del costado del neumático para poder encontrar rebabas. |
| 2.2                                    | Dimensiones           | X         |       | Diámetro exterior (mínimo: 400 mm, máximo: 800 mm). Diámetro interior (mínimo: 381 mm, máximo: 431 mm)                     |
|  |                       | X         |       | Ancho del neumático (mínimo: 100 mm, máximo: 400 mm).  |
|  |                       | X         |       | Ancho costado: mínimo: 90 mm, máximo: 150 mm   |
|  |                       | X         |       | Peso del neumático (mínimo: 30 kg., máximo: 55 kg.)  |
| 2.3                                    | Movimientos           | X         |       | El neumático debe colocarse en forma vertical y a una velocidad constante.   |
| 2.4                                    | Señales y Control     | X         |       | Distancia de disparo <1 mm   |
| 2.5                                    | Fabricación y Montaje | X         |       | La sección de trabajo debe de cumplir con la especificación del ancho del costado.   |
| 2.6                                    | Vida útil             | X         |       | Sistema robusto para evitar desalineación del neumático.   |

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

| DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO |                       |           |       |   |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|-------|---|
| No.                           | Categoría             | Requisito | Deseo | Descripción   |
| 3.1                           | Dimensiones           |           | X     | Dimensiones máximas: l:100 cm, a:120 cm, h:150 cm                     |
| 3.2                           | Energía               | X         |       | Voltaje 24VDC +/-10%, 110 AC +/-10%, 60 Hz                            |
| 3.3                           | Materiales            |           | X     | Perfil aluminio factor de seguridad                                   |
| 3.4                           | Señales y Control     | X         |       | Protocolo de comunicación: ethernet / RS232                           |
| 3.5                           | Fabricación y Montaje |           | X     | Ajuste mínimo en x: 15 cm, y: 20 cm, ajuste mínimo de inclinación 60° |
| 3.6                           | Mantenimiento         |           | X     | Mínimo mantenimiento requerido.                                       |

| DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y ERGONOMÍA |                   |           |       |   |
|---------------------------------------|-------------------|-----------|-------|---|
| No.                                   | Categoría         | Requisito | Deseo | Descripción   |
| 4.1                                   | Función           | X         |       | La activación del sistema debe realizarse por medio de un botón. El láser debe permanecer apagado en caso de que el sistema no esté en operación. |
| 4.2                                   | Dimensiones       | X         |       | Altura mínima 150 cm.   |
| 4.3                                   | Movimientos       | X         |       | Puntos de pellizco asegurados, el usuario no debe tener injerencia en el sistema.   |
| 4.4                                   | Señales y Control | X         |       | Láser clase 1, 1M, 2, 2M.   |
| 4.5                                   | Mantenimiento     | X         |       | Libre de derrames y fugas.  |



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

| DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN |                   |           |       |  |
|----------------------------|-------------------|-----------|-------|--|
| No.                        | Categoría         | Requisito | Deseo | Descripción  |
| 5.1                        | Función           | X         |       | El tiempo de ciclo de medición por neumático deber ser $\leq 6$ segundos                     |
| 5.2                        | Movimientos       | X         |       | El neumático debe girar de manera automática sin manipulación del operador.                  |
| 5.3                        | Señales y Control | X         |       | El sistema debe ser capaz de guardar los datos en una base de datos para posterior análisis. |

## **2.- Diseño de la arquitectura del sistema**

A partir de las especificaciones definidas, se elabora el diseño de la arquitectura del sistema el cual consiste en la representación del sistema en donde existe una correlación entre los diferentes componentes. La estructura para la definición del sistema es mostrada en la Figura 20.



*Figura 20. Módulos de la arquitectura del sistema. Fuente: Elaboración Propia.*

## Sistema mecánico

En este módulo se tiene como objetivo principal definir cómo va a ser el sistema de giro del neumático y la estructura donde va a ser colocado.

El planteamiento inicial, para definir el diseño del sistema mecánico, pasa por decidir si el sistema va a ser manual o motorizado. Este aspecto va a condicionar otras características de la máquina. La Tabla 6 muestra el análisis para la selección del accionamiento del sistema.

*Tabla 6. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de. Fuente: Elaboración Propia.*

| SISTEMA           | VENTAJAS   | DESVENTAJAS  |
|-------------------|--|--|
| <b>MANUAL</b>     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bajos costos de operación.</li> <li>2. No se requiere personal experto.</li> <li>3. No se requiere mantenimiento.</li> <li>4. Complejidad de operación baja.</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disponibilidad de mano de obra.</li> <li>2. Esfuerzo humano para accionar.</li> <li>3. Menor productividad.</li> <li>4. Errores de operación al momento del giro.</li> </ol> |
| <b>AUTOMÁTICO</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evitar errores de operación y de medición.</li> <li>2. Confiabilidad del equipo.</li> <li>3. Mayor productividad.</li> <li>4. Incremento de Eficiencia.</li> <li>5. Ergonómicamente amigable.</li> <li>6. Repetibilidad y reproducción de las mediciones.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Costo energético.</li> <li>2. Mayor número de piezas.</li> <li>3. Mayor costo.</li> <li>4. Refaccionamiento disponible.</li> </ol>   |

Realizado el análisis, se decidió implementar un sistema automático, debido a que se busca que el sistema sea eficiente y logre eliminar los errores de inspección actuales.

La estructura por requerimiento de los usuarios deber ser robusta, pero a su vez ligera, esto con la finalidad que el sistema pueda ser trasladado de un punto a otro. Bajo estos requerimientos se seleccionó el perfil de aluminio para este componente.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

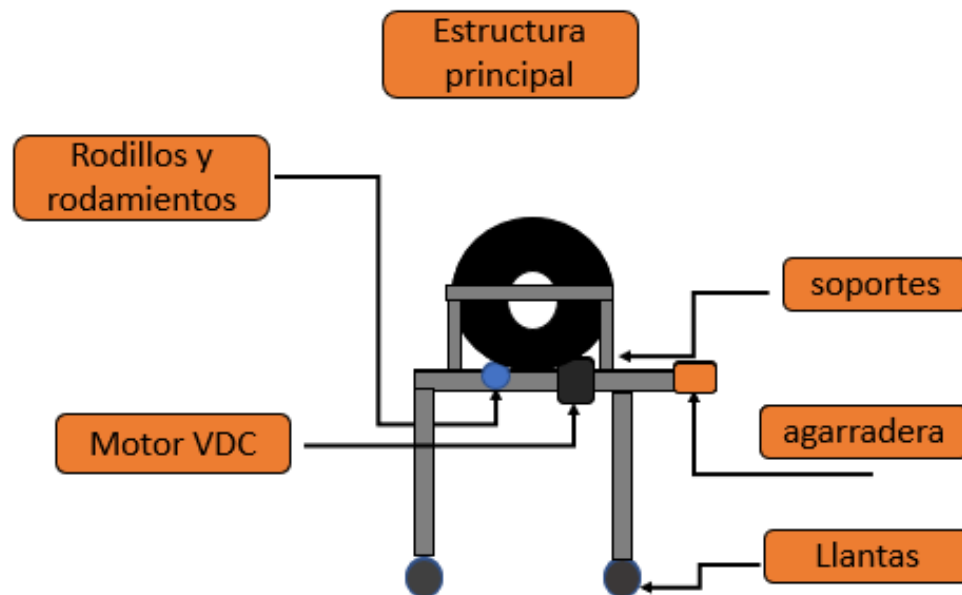
Para realizar el giro del neumático en forma vertical se van a colocar 2 rodillos en forma horizontal y estos tienen que ir acoplados por medio de rodamientos a la estructura de perfil de aluminio.

Partiendo de las premisas establecidas se estable utilizar un motor eléctrico de 24VDC principalmente por requerimiento de los usuarios y departamentos descritos en la Tabla 5, en mayor medida por el peso, ruido y por la disponibilidad de refacciones.

El motorreductor debe ir unido a uno de los rodillos por medio de un acoplador flexible el cual le permitirá transmitir la potencia de un eje a otro y así hacer girar el rodillo.

Por último, la estructura debe contar con llantas y una agarradera para poder desplazarse con el mínimo esfuerzo.

A continuación, la Figura 21 muestra la arquitectura del sistema mecánico que se considera para el diseño del sistema.



*Figura 21. Arquitectura del sistema mecánico. Fuente: Elaboración Propia.*

## **Sistema electrónico**

El sistema electrónico será el encargado de adquirir las imágenes de los desperfectos de los neumáticos, teniendo como base los requerimientos de las diferentes áreas descritos en las tablas de requerimientos.

El sistema de visión deberá contar con sensores digitales con una cámara industrial en su interior para el procesamiento de las imágenes.

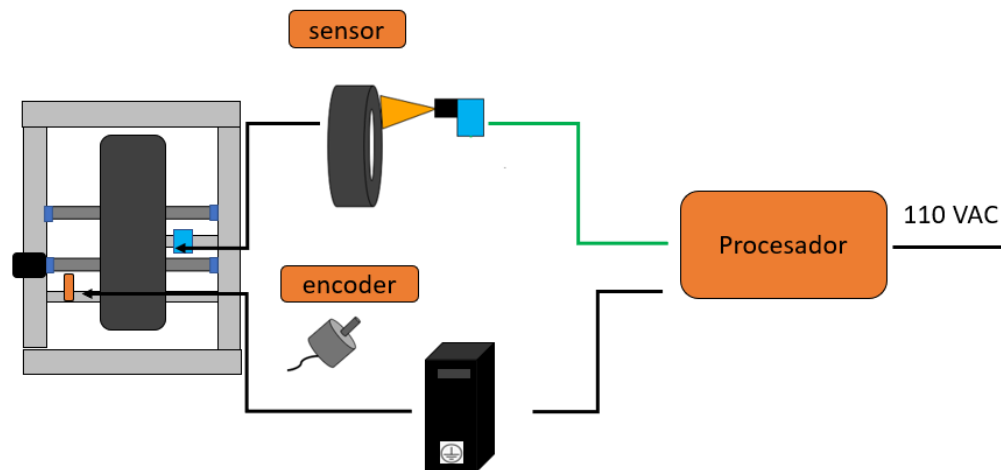
El sensor seleccionado deberá ir montado en la estructura principal para poder hacer la medición en el costado del neumático. Este deberá montarse en una base que tenga ajuste de inclinación, al igual que en sus ejes correspondientes. La alimentación del sensor será provista por una fuente de 24 VDC.

Para controlar la forma en que el sensor percibe al objeto será necesario contar con un sistema de iluminación para resaltar los aspectos que se requieren del objeto y permitirá evitar numerosas manipulaciones de la imagen.

El sensor seleccionado deberá contar con un controlador que maneje el programa operativo del sistema de visión, con el que se ejecutarán las tareas necesarias para la aplicación. La alimentación del controlador deberá ser a 110 VAC de acuerdo con los requerimientos.

Debido a que el neumático va a estar en movimiento, se requiere un encoder, el cual es un dispositivo electromecánico que permite codificar el movimiento mediante una señal eléctrica. Este dispositivo va a ser colocado en el rodillo controlado por el motor y será la interfaz entre el dispositivo mecánico y el controlador que contendrá el programa de visión.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*



*Figura 22. Arquitectura del sistema eléctrico. Fuente: Elaboración Propia.*

La Figura 22 muestra la arquitectura del sistema eléctrico que se considera para el diseño del sistema.

### **Sistema informático**

El sistema informático será encargado de realizar el procesamiento de la información, la evaluación de los datos y la obtención de resultados durante las pruebas mediante el sistema de visión.

En base a lo mencionado anteriormente, en la arquitectura del sistema eléctrico, uno de los módulos principales del sistema informático es el controlador, este va a ser el encargado de facilitar la interacción entre el sistema operativo de la PC y el hardware del sistema de visión.

El procesamiento de las imágenes para poder mostrar los resultados será ejecutado por un software especializado en visión y estará instalado en la PC del controlador. Este software deberá contener herramientas flexibles para obtener los resultados deseados.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

El operador podrá ver los resultados del procesamiento de las imágenes mediante una pantalla, que deberá contar con botones para poder ingresar a los menús o pantallas del sistema.

Los resultados del procesamiento de las imágenes obtenidas son almacenados en una base de datos local. Estos resultados estarán disponibles para que puedan ser descargados por los usuarios interesados para analizar los resultados y poder tomar acciones en los procesos relacionados con la elaboración de los neumáticos. La Figura 23 muestra la arquitectura del sistema informático.

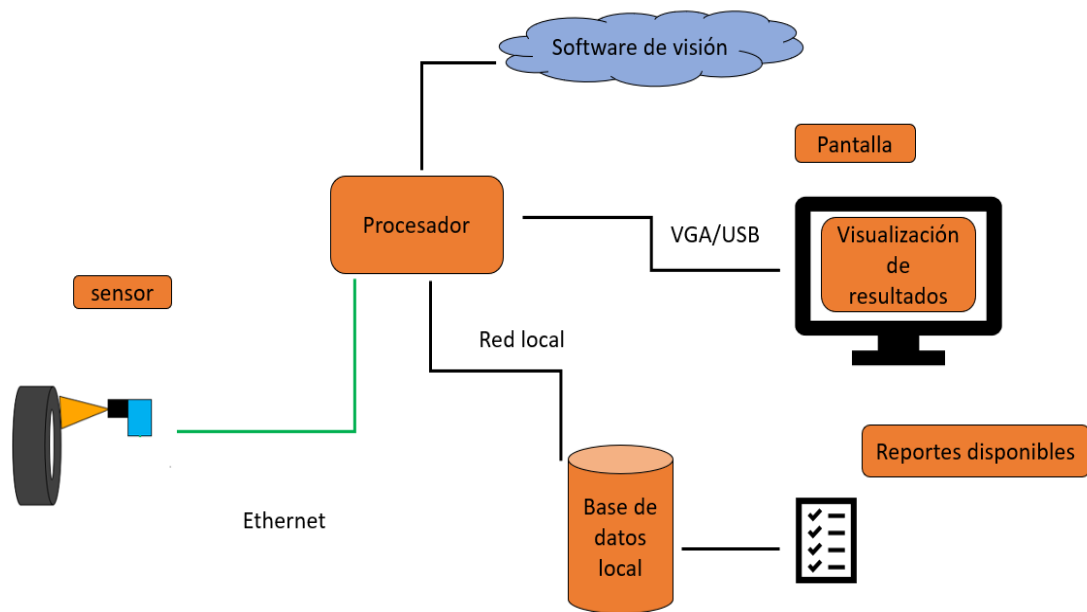


Figura 23. Arquitectura del sistema informático. Fuente: Elaboración Propia.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

La Figura 24 muestra la representación gráfica de la conjunción de las diferentes arquitecturas que componen al sistema de inspección. Como se indica anteriormente esta se realizó en diferentes etapas para poder lograr una mejor relación entre los diferentes componentes de cada sistema.

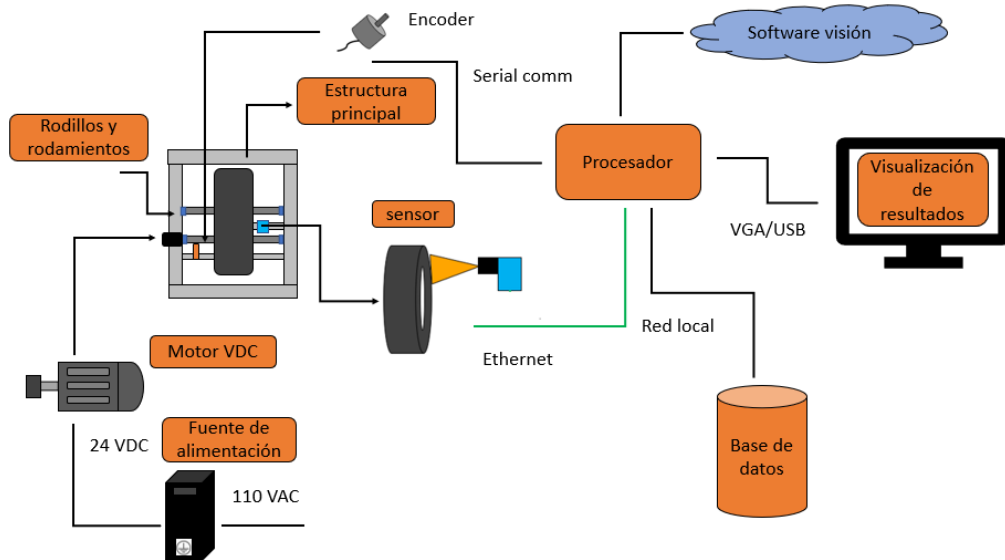


Figura 24. Arquitectura de sistema para detección de rebaba en neumáticos. Fuente: Elaboración Propia.

### **3.- Elaboración de diseño preliminar**

El objetivo de esta fase de la espiral es poder definir el diseño preliminar para la construcción del prototipo mediante la elaboración de un diseño conceptual, así como la definición de los materiales y componentes. Para la elaboración del diseño preliminar se realiza un análisis de las especificaciones descritas y después se ejecutan los pasos establecidos en la Figura 25 para la elaboración del sistema.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

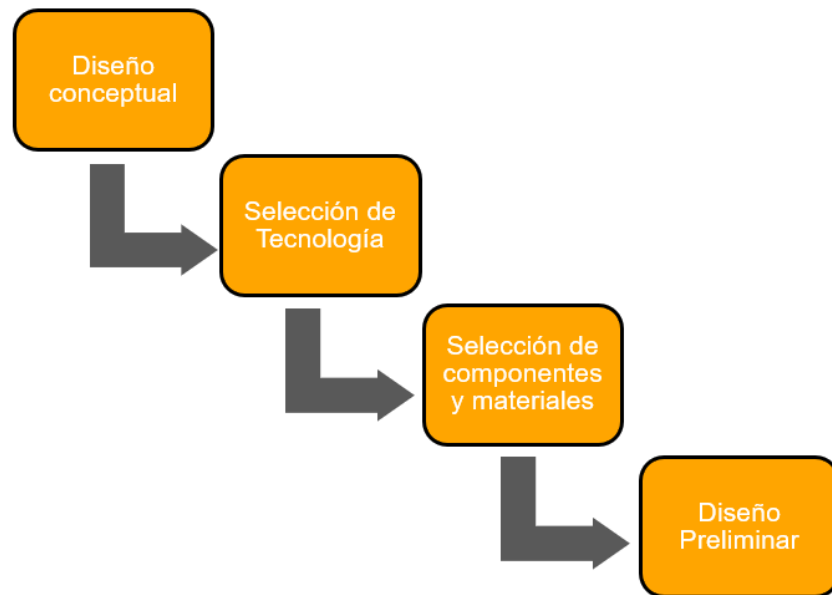


Figura 25. Pasos para elaboración de diseño preliminar. Fuente: Elaboración Propia.

**Diseño Conceptual**

A partir de la arquitectura definida anteriormente, se realiza el diseño conceptual del sistema de inspección, el cual consiste en plasmar de manera visual los diferentes componentes del sistema.

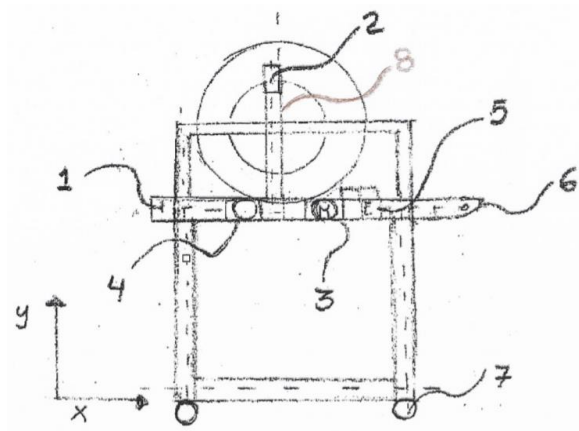


Figura 26. Ilustración diseño conceptual. Fuente: Elaboración Propia.



El diseño hace referencia a cada una de sus partes descritas, estas cuentan con un número asignado como referencia como puede observarse en la Figura 26<sup>1</sup>.

La estructura principal **1**, muestra el concepto para hacer girar el neumático verticalmente, cuenta con soportes para poder colocar los sensores **2** y soportes **8** para evitar que el neumático sufra desplazamiento, cuentan con ajuste para poder acoplarse a los diferentes tamaños del neumático.

La estructura **1**, de acuerdo con los requerimientos, cuenta con agarradera **6** y llantas **7** para que el sistema pueda ser desplazado de manera ergonómica por los usuarios.

El sistema de giro **3**, cuenta con un motor de 24 VDC el cual este acoplado a la flecha del **4** rodillo mediante un acoplador flexible para de esta manera transmitir la potencia y hacer girar el neumático.

Los sensores **2** deben ser colocados en la estructura y contar con ajuste en dirección x, y para poder ajustarse a diferentes tamaños de neumáticos. Para saber de manera precisa la ubicación de la rebaba, el encoder **5** está colocado de tal manera que, cuando el rodillo de la transmisión gire, este también gire. Está soportado mediante un perfil acoplado a la estructura.

### ***Selección de la Tecnología***

Para definir el sistema, se utilizan como base las tablas de especificaciones definidas en la fase 1 del primer nivel de la espiral. El criterio de selección de la tecnología

---

<sup>1</sup> *El diseño conceptual mostrado en la Figura 26 no está necesariamente a escala y ciertas características están exageradas para ser más ilustrativas y de esta manera hacer una representación más entendible. El diseño descrito no pretende limitar o restringir la forma y configuración para el diseño preliminar.*

más adecuada está basado en las especificaciones denominadas como requisitos indispensables.

Los factores primordiales que debe cumplir el sistema son aquellos que van relacionados directamente al objetivo principal, el cual es poder identificar y medir las rebabas en el costado del neumático de forma automática.

A continuación, se enlistan los requisitos primordiales identificados en las fases anteriores:

- *Sistema o máquina automática para la identificación de la rebaba.*
- *Detección de rebabas => 1 mm de altura en el costado del neumático.*
- *El sistema debe medir y visualizar la rebaba detectada en mm.*
- *El sistema debe contar con un software y hardware para realizar las mediciones de manera automática.*
- *Se requiere una interfaz gráfica para mostrar los resultados y ubicación de la rebaba.*
- *Se requiere una trazabilidad de los neumáticos que contengan rebaba para identificar la prensa de vulcanización de origen.*
- *El tiempo de inspección debe ser igual o menor a 6 segundos.*

De acuerdo con lo anterior, la tecnología adecuada para el sistema debe estar enfocada en analizar la calidad de la superficie. Según Madrigal González (2017), la calidad de la superficie de los objetos es una de las 4 características inspeccionadas por un sistema de visión automático. Dentro de la inspección de la calidad de la superficie se buscan los desperfectos en ella.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

La inspección visual automática es una combinación de hardware y software que cuenta con sensores digitales protegidos en el interior de cámaras industriales con ópticas especiales para adquirir las imágenes que se van a procesar.

La Tabla 7 muestra la comparativa de las 3 categorías de sistemas de visión: 1D, 2D y 3D (Teitel, 1978), (Fisher, 2006), donde se hace una comparación de aspectos técnicos, productivos, recursos y costos.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Tabla 7. Categorías de Sistemas de Visión. Fuente: Elaboración Propia.

| <b>Sistema</b> | <b>Aspectos técnicos</b>  | <b>Aspectos Productivos</b>  | <b>Materiales</b>   | <b>Costo</b>   |
|----------------|---|--|---|--|
| <b>1D</b>      | Analiza una línea por vez en lugar de analizar una imagen completa  | Detecta y clasifica defectos en materiales en líneas de proceso continuo   | Iluminación adecuada  | Bajo costo   |
| <b>2D</b>      | Captura imágenes en 2D instantáneas en varias resoluciones, también puede reconstruir imágenes, línea por línea   | Para piezas cilíndricas es necesario tener múltiples cámaras para cubrir toda la superficie del objeto o rotar las piezas. Los sistemas de escaneo de línea caben en espacio reducidos. Se utilizan para inspeccionar productos en movimiento continuo.  | Iluminación adecuada y un eje codificador.  | Alto costo por plataforma y controladores de visión.   |
| <b>3D</b>      | Estos sistemas pueden ser de cámaras múltiples o de una sola cámara. Se genera un mapa de altura por el desplazamiento del reflejo de la ubicación del láser sobre el objeto. Este mapa generado reproduce el objeto en 3D y por medio de herramientas de software se pueden hacer las mediciones requeridas. | Los sensores pueden medir parámetros como altura de superficies, volúmenes y la planitud con alta precisión por medio de un modelo 3D proporcionado. Puede medir, detectar y clasificar en líneas de proceso continuo. En sistemas robóticos se utiliza para proporcionar orientación de la pieza. | Codificador (absoluto o diferencial) y evitar que el objeto tenga alteraciones durante su movimiento. | Alto costo por plataforma y controladores de visión. Programación de visión artificial avanzada. |

Para el sistema de detección de rebaba se eligió utilizar la tecnología 3D para el prototipo ya que esta es la que cumple con los requerimientos establecidos, específicamente sobre la capacidad de procesar la imagen en 3 dimensiones y poder medir la altura de las rebabas en cualquier posición que se encuentren respecto al sensor. Cabe señalar que el sistema de visión seleccionado cuenta con su propio software y hardware especializado.

El controlador de este sistema de visión está basado en una computadora de uso industrial para interactuar de manera sencilla con los sensores para la adquisición de imágenes y este deberá ser compatible con el software del sistema de visión.

### ***Selección de componentes y materiales***

#### **Selección de materiales - estructura**

Para la selección del material de la estructura principal del sistema se tomó en consideración la especificación 3.3 de la Tabla 5, por demanda de los usuarios. El requerimiento indica que el material a utilizar debe ser aluminio, teniendo en consideración esta especificación se elaboró la Tabla 8 para escoger el perfil adecuado para el sistema.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

Tabla 8. Perfil de Aluminio. Fuente: Elaboración Propia en base a datos de proveedor Norelem.

| Perfil de aluminio |        |                 |                                      |            |                   |          |
|--------------------|--------|-----------------|--------------------------------------|------------|-------------------|----------|
| Material           | perfil | ancho de ranura | superficie de perfil cm <sup>2</sup> | F1 máx. KN | material estándar | diagrama |
| tipo B- ligero     | 40x40  | 10              | 5.61                                 | 7          | no                |          |
| tipo B- ligero     | 45x45  | 10              | 5.73                                 | 7          | si                |          |
| tipo B- ligero     | 45x60  | 10              | 11.14                                | 12         | si                |          |
| tipo B- ligero     | 45x90  | 10              | 15.24                                | 12         | no                |          |
| tipo B- ligero     | 90x90  | 10              | 38.93                                | 18         | no                |          |
| tipo I - ligero    | 60x60  | 6               | 10                                   | 0.5        | no                |          |
| tipo I - ligero    | 40x80  | 8               | 11.3                                 | 2.5        | no                |          |
| tipo I - ligero    | 80x80  | 8               | 19.3                                 | 2.5        | no                |          |

Partiendo de estas premisas, se determinó que el perfil de aluminio 45x45 mm es el que cumple con las especificaciones necesarias ya que puede soportar el peso del neumático máximo de 55 kg, además es un perfil estándar utilizado por el departamento de mantenimiento.

### **Selección de componentes**

En esta sección se muestra la selección de los componentes físicos más adecuados que conforman el sistema para la detección de la rebaba. La comparativa está basada en características técnicas, disponibilidad de refacciones localmente, costo y complejidad para el mantenimiento.

### **Sensores 3D**

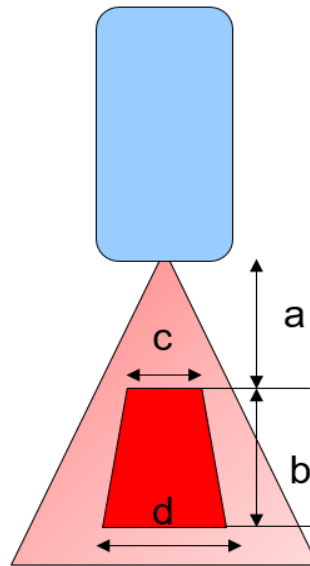
Para la selección del sensor 3D más adecuado se va a comparar la distancia de trabajo y la apertura del láser como se muestra en la Tabla 9.

*Tabla 9. Comparativa de sensores 3D. Fuente: Elaboración Propia en base a datos de proveedor Cognex.*

| Especificaciones técnicas Sensores 3D |                     |                   |                   |                   |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Especificación                        |                     | 1                 | 2                 | 3                 |
| a                                     | distancia min. (mm) | 87                | 136               | 181               |
| b                                     | distancia máx. (mm) | 163               | 236               | 906               |
| c                                     | apertura min. (mm)  | 43                | 64                | 90                |
| d                                     | apertura máx. (mm)  | 79                | 162               | 410               |
| Resolución                            |                     | 1024 x 78 pixeles | 1024 x 78 pixeles | 1024 x 78 pixeles |
| Clasificación láser                   |                     | 2M                | 2M                | 3R                |
| Compatibilidad con encoder            |                     | Si                | Si                | Si                |

El sensor número 2 cumple con el requerimiento 2.5 de la Tabla 5, el cual indica el rango de la distancia mínima y máxima de trabajo (min: 150 mm, máx.: 250 mm), de igual manera con el requerimiento de Seguridad 4.4 sobre la clasificación del láser. Debido a que estos sensores 3D tienen un láser integrado, no requieren un sistema de iluminación especial.

La Figura 27 representa la sección de trabajo del láser de un sensor 3D, donde **a** es la distancia mínima de trabajo, **b** es la distancia máxima de trabajo, **c** y **d** es la apertura mínima y máxima del láser respectivamente.



*Figura 27. Representación gráfica de la sección de trabajo de un sensor 3D. Fuente: Elaboración Propia.*

## **Encoder**

Como se puede ver en la Tabla 10, se decidió utilizar un encoder rotatorio incremental ya que el punto de referencia puede variar dependiendo el tamaño del neumático.

Para que la medición sea acorde a lo especificado en el requerimiento 2.4 de la Tabla 5, se utilizará un encoder de 1024 pulsos por revolución para que la distancia de disparo sea  $< 1$  mm. El encoder contempla un disco de acoplamiento de 72 mm de diámetro que estará en contacto directo con el rodillo motriz que se encarga de girar el neumático.



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Tabla 10. Comparativa de los tipos de encoder. Fuente: Elaboración Propia.

| Encoder            | Ventajas   | Desventajas   | Costo       | Disponibilidad |
|--------------------|--|---|-------------|----------------|
| <b>Absoluto</b>    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lleva un registro del movimiento relativo a un punto de inicio definido al momento de arrancar</li> <li>2. Su punto de inicio puede ser ajustado electrónicamente</li> <li>3. Conoce la posición exacta de su eje</li> <li>4. Son digitales</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Especifica un solo código de ángulo.</li> <li>2. Costo</li> </ol>                   | ≈ 1,000 USD | NO             |
| <b>Incremental</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Precisión</li> <li>2. Costo</li> </ol>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para iniciar siempre se debe predeterminar un cero.</li> <li>2. Análogos</li> </ol> | ≈ 500 USD   | SI             |

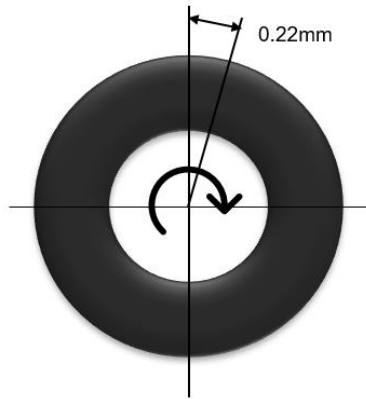
Cálculos para conocer la distancia por ciclo utilizando un encoder de 1024 pulsos por revolución:

$$\begin{aligned} \text{Perímetro disco de acoplamiento} &= (\text{Diámetro})_p \\ &= (72\text{mm})_p = 226.19\text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Distancia/ciclo} &= \text{Perímetro de disco} / \text{número de pulsos} \times \text{revolución de encoder} \\ &= 226.19\text{ mm} / 1024 = 0.22\text{ mm} \end{aligned}$$

La Figura 28 muestra, de manera gráfica, que cada 0.22 mm se va a realizar una medición en sentido horario del neumático, con esto se corrobora que el encoder de 1024 pulsos por revolución es el indicado ya que cumple la especificación 2.4 de la Tabla 5.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*



*Figura 28. Representación de la distancia/ciclo en el neumático. Fuente: Elaboración Propia.*

Como conclusión, cada 0.22 mm el sistema realizará una medición; entre más pequeña sea esta distancia, se tiene mejor resolución de la imagen y mayor probabilidad de encontrar rebabas sobre la superficie del neumático.

### **Motorreductor**

Para la selección del motor se considera el neumático con el diámetro exterior máximo de 800mm de acuerdo con las especificaciones de producto.

Este neumático debe girar una revolución por cada 6 segundos, para cumplir con el tiempo de inspección actual.

Los cálculos utilizados en la selección del motor para el sistema de inspección.

- Perímetro del neumático:

$$\begin{aligned}\text{Perímetro del neumático} &= (\text{Diámetro max})p \\ &= (800 \text{ mm})p = 2,513.28 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Perímetro del rodillo:

$$\begin{aligned}\text{Perímetro del rodillo} &= (\text{Diámetro})p \\ &= (44.45 \text{ mm})p = 139.6 \text{ mm}\end{aligned}$$

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Con el fin de que el neumático gire una revolución, es necesario que el rodillo con el motorreductor acoplado gire 18 veces, como se muestra en el siguiente cálculo.

$$2,513.28 / 139.6 = 18 \text{ rev. del rodillo}$$

Para poder cumplir con el tiempo de ciclo estipulado de 6 segundos, es necesario dividir la cantidad de revoluciones del rodillo entre el tiempo de ciclo y multiplicarlo por 60 para obtener los rpm del motor a utilizar en el sistema.

$$18 \text{ rev} / 6 \text{ seg} \cdot 60 \text{ seg} / 1 \text{ min} = 180 \text{ rev}$$

Tabla 11. Especificación de motorreductores DC. Fuente: Elaboración Propia con datos de proveedor Zhaowei.

| Datos motorreductor  |                        |                    |                    |                    |                    |                     |
|--|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|  |                        | ZWBMD0280<br>28-16 | ZWBMD0280<br>28-24 | ZWBMD0280<br>28-36 | ZWBMD0280<br>28-64 | ZWBMD0280<br>28-256 |
| 1  | Reducción              | 16.00              | 24.00              | 36.00              | 64                 | 256                 |
| 2  | Torque 24V<br>(gf cm)  | 837                | 1255               | 1882               | 2206               | 6617                |
| 3  | Velocidad<br>24V (rpm) | 413                | 276                | 181                | 104                | 26                  |
| 4  | Corriente<br>(mA)      | 400                | 400                | 400                | 350                | 350                 |
| 5  | Longitud<br>(mm)       | 67.3               | 67.3               | 67.3               | 75.8               | 46.8                |
| *+/-15% de tolerancia para el torque nominal y velocidad nominal |                        |                    |                    |                    |                    |                     |

El motorreductor seleccionado es el ZWBMD028028-36, de acuerdo con la Tabla 11. Este motorreductor es el encargado de hacer girar el rodillo por medio de un acoplador, el cual se encarga de no permitir variaciones de velocidad en la transmisión al rodillo y de igual manera absorber las desalineaciones axiales, radiales y angulares.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

El acoplador por utilizar será de aluminio del tipo flexible de espiral, ya que es el recomendado para sistemas de medición y control. La selección se basa en la velocidad nominal de 180 RPM del motor y en la relación de diámetros de flechas del motor seleccionado y del diámetro del rodillo, 10 mm/12 mm. Por lo tanto, el acoplador flexible que cumple con las características es el AFP 2532, de acuerdo con la Tabla 12.

*Tabla 12. Selección de acoplamiento flexible. Fuente: Elaboración Propia con datos de proveedor Hohner.*

| <b>Acoplamientos flexibles ranurados de aluminio</b> |                                 |                |                |                |
|--|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|  |                                 | ZWBMD028028-16 | ZWBMD028028-24 | ZWBMD028028-36 |
| 1  | Par (N cm)                      | 2              | 25             | 100            |
| 2  | Par de apriete (N cm)           | 8              | 35             | 120            |
| 3  | Velocidad máxima (rpm)          | 8000           | 8000           | 8000           |
| 4  | Masa (gr.)                      | 0.5            | 4              | 35             |
| 5  | Inercia (g cm <sup>2</sup> )    | 0.02           | 0.83           | 30             |
| 6  | Desalineamiento angular (grad.) | +/- 2          | +/- 2.5        | +/- 4          |
|  | Desalineamiento radial (mm)     | +/- 0.1        | +/- 0.15       | +/- 0.3        |
|  | Desalineamiento axial (mm)      | +/- 0.15       | +/- 0.25       | +/- 0.5        |
| 7  | Ø D1/D2 (mm)                    | 2 / 2          | 4 / 4          | 10 / 12        |

## **Controlador**

El controlador de este sistema de visión cuenta con su propio controlador el cual consiste en una computadora de uso industrial para interactuar de manera sencilla con los sensores para la adquisición de imágenes y esta contiene la licencia del software del sistema de visión.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

La Tabla 13 muestra las características del controlador. Para la visualización de los resultados, se va a utilizar un monitor de 22" que va conectado al controlador.

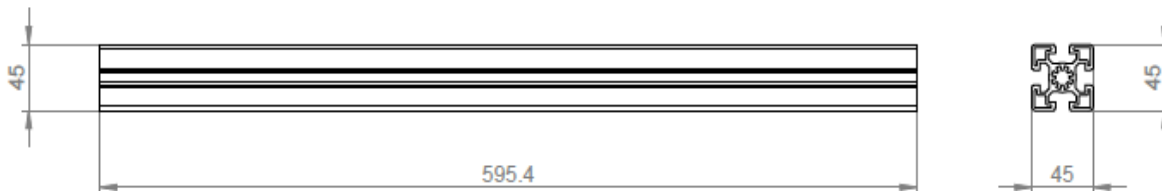
*Tabla 13. Especificaciones del controlador. Fuente: Elaboración Propia.*

| <b>Especificación</b>                    |
|--|
| Voltaje 24 VDC                           |
| Memoria 120 GB                           |
| Puerto RS232 para conexión serial        |
| Puerto VGA para conexión de monitor      |
| 2 Puertos DB15 para conexión de sensores |
| 2 Puertos USB                            |
| Terminal de conexión para I/O            |
| 1 Puerto LAN RJ45 Ethernet               |
| 1 Puerto GigE RJ45 Ethernet              |

**Diseño preliminar**

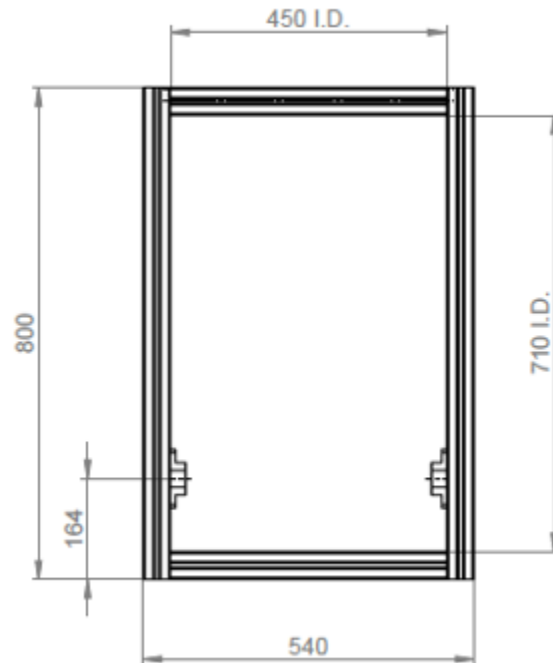
Una vez teniendo seleccionado los componentes y los materiales se va a diseñar el sistema teniendo como base el diseño conceptual. El objetivo es obtener los planos del prototipo.

Las Figuras 29, 30 y 31 muestran las diferentes partes que componen la estructura principal.



*Figura 29. Perfil de aluminio de 45mmx45mm. Fuente: Elaboración Propia.*

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*



*Figura 30. Base del sistema (mm). Fuente: Elaboración Propia.*



*Figura 31. Soportes laterales (mm). Fuente: Elaboración Propia*

Para el diseño de la estructura principal del prototipo, se definió que el sistema se pueda desplazar fácilmente, por tal motivo se agregaron 2 ruedas guía de goma en la parte delantera y 2 ruedas fijas en la parte posterior (ver Figura 32).

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

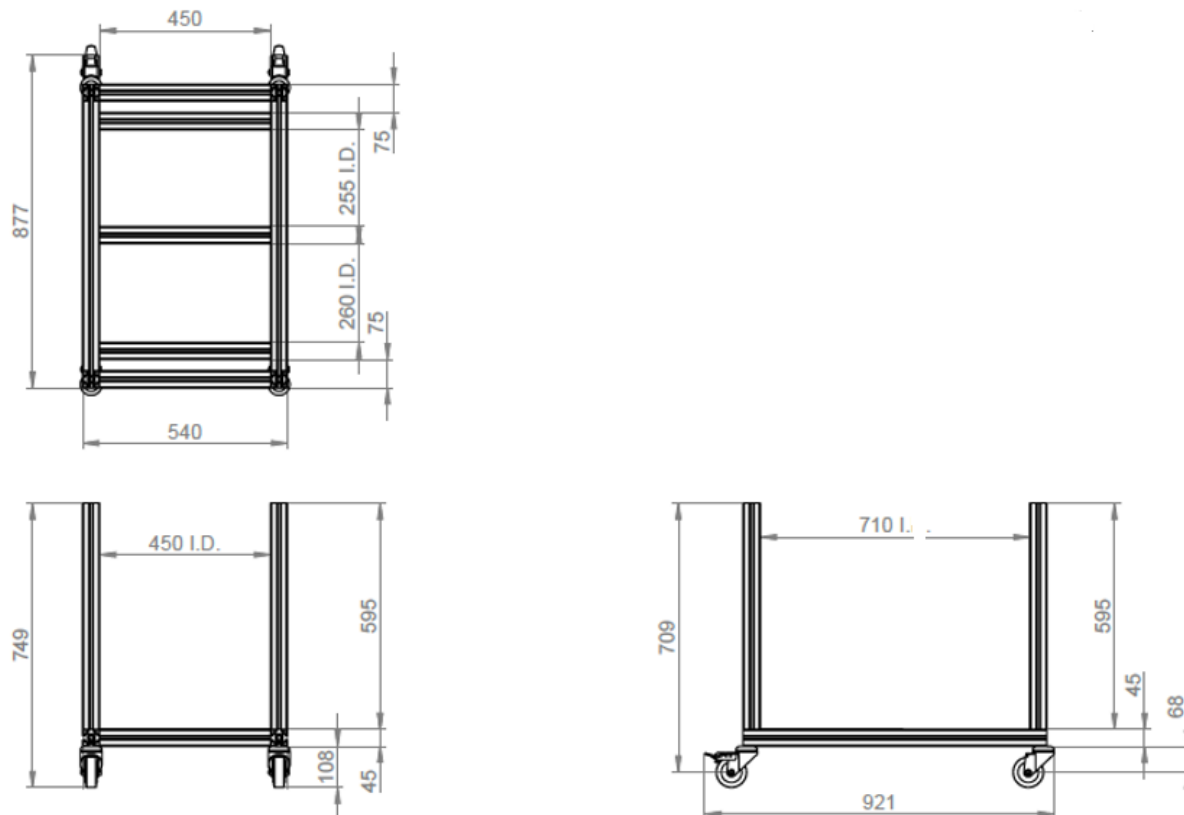
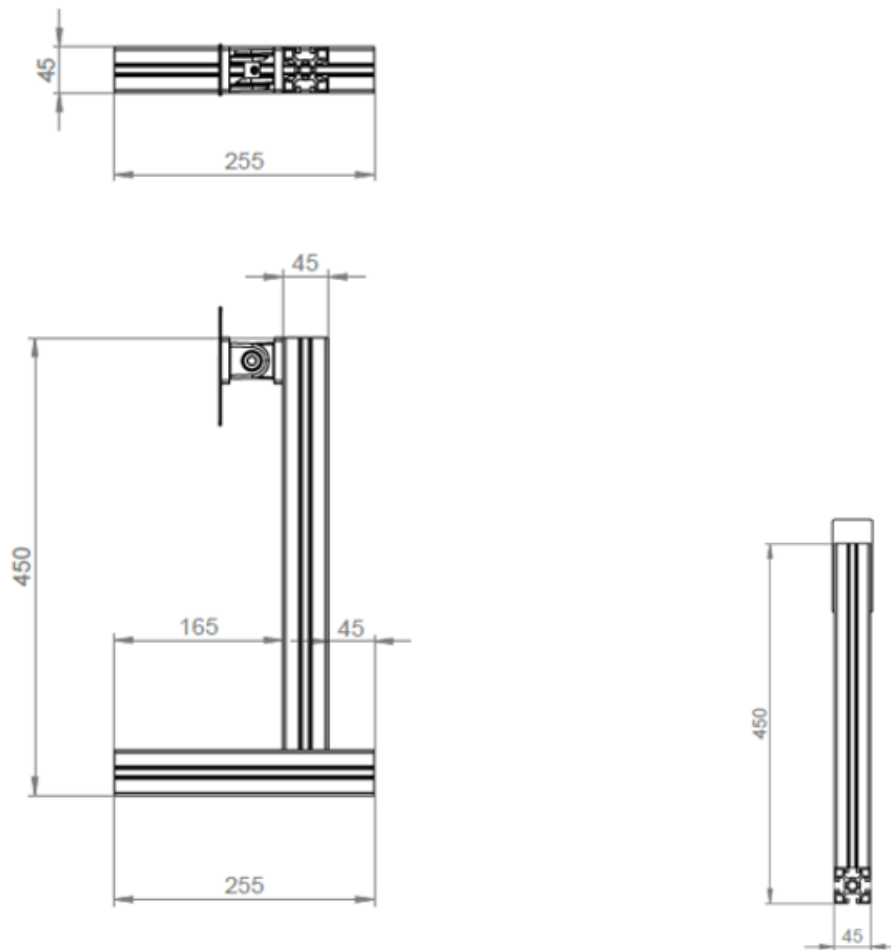


Figura 32. Estructura principal del sistema (mm). Fuente: Elaboración Propia.

Tomando en cuenta la medida de los sensores 3D, se diseñaron los soportes adecuados para que puedan cumplir los requerimientos de ajuste de ángulo y dirección en x, y. Los perfiles también estarán fabricados de perfil de aluminio de 45 mm x 45 mm.

La Figura 33 muestra el diseño de los soportes de los sensores, la base de montaje del sensor tiene un ajuste de inclinación de 90° el cual cumple con la especificación del ajuste de ángulo.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*



*Figura 33. Soporte para sensor 3D (mm). Fuente: Elaboración Propia.*

Para el giro de 360° del neumático la solución propuesta es la instalación de 3 rodillos de  $\text{Ø}44.4$  mm sujetos por medio de chumaceras de  $\text{Ø}12.7$  mm. Los rodillos pueden ser ajustados en su eje x dependiendo la medida del neumático. Los rodillos tienen una lija antiderrapante en el centro para evitar que el neumático tenga un desplazamiento durante el giro (ver Figura 34).



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

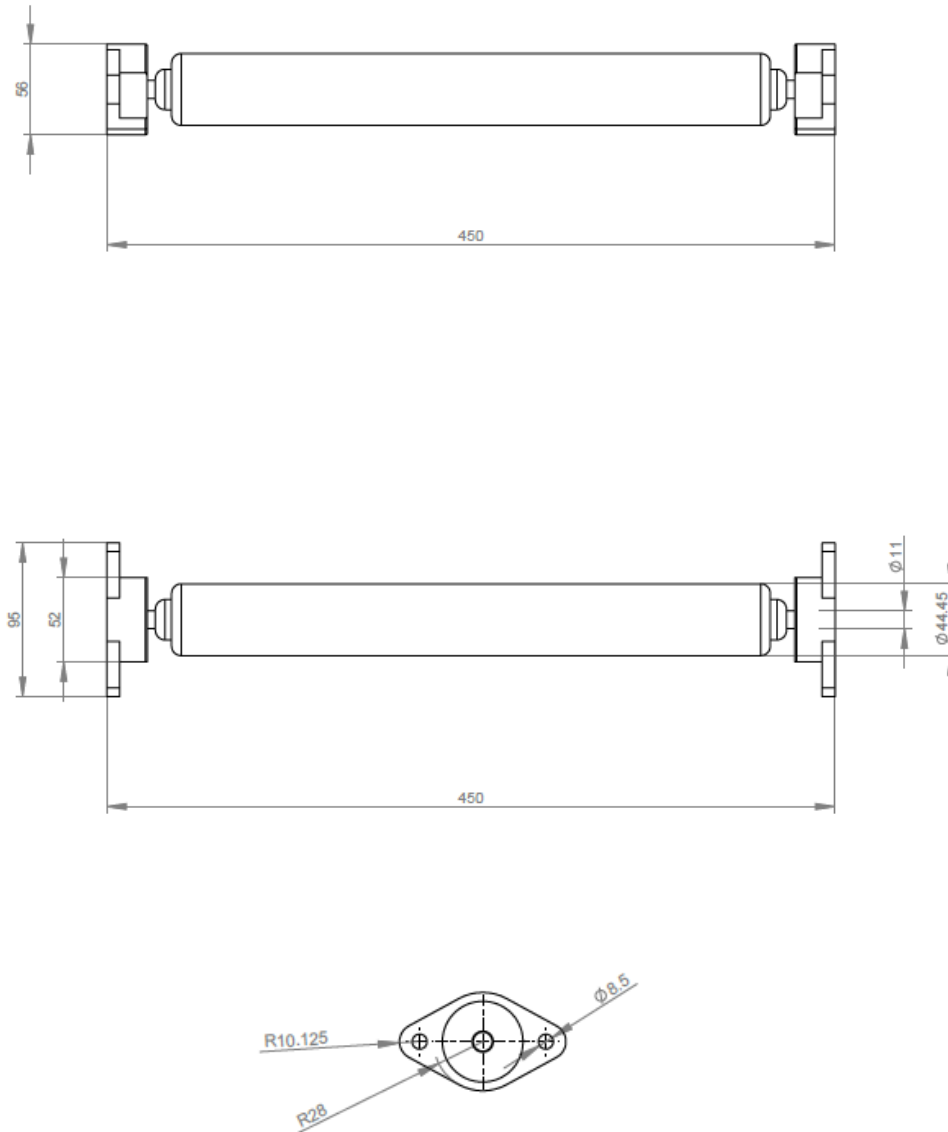


Figura 34. Rodillos y chumaceras para soporte. Fuente: Elaboración Propia.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

Por último, se realiza el ensamble final de las diferentes partes diseñadas del sistema, como se muestra en la Figura 35.

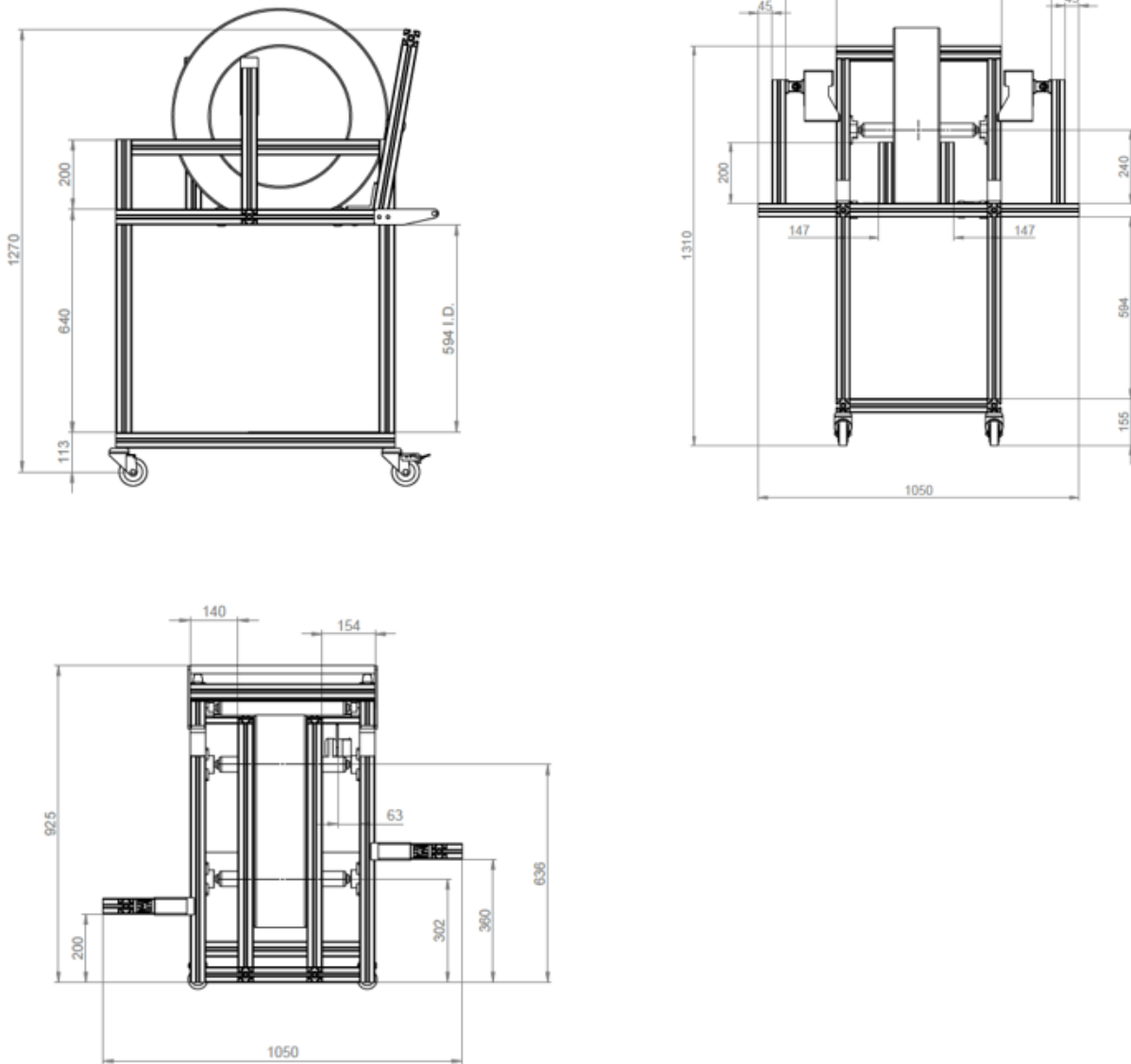


Figura 35. Ensamble de diseño preliminar del sistema de detección de rebaba (mm). Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.- Construcción de modelo Isométrico**

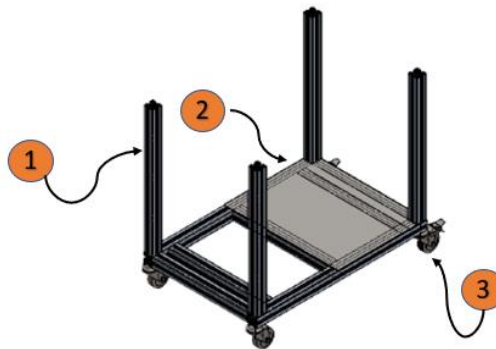
El objetivo de esta fase es hacer una representación gráfica del diseño preliminar obtenido en la fase anterior. Esta representación tridimensional permite ver, de mejor manera, los detalles del sistema.

A continuación, se presenta el modelo tridimensional de los principales elementos para el funcionamiento del sistema de acuerdo con los planos del diseño preliminar, los modelos tridimensionales de cada uno de los elementos se realizaron mediante un software especializado para modelaje mecánico.



*Figura 36. Isométrico de la base de la estructura principal. Fuente: Elaboración Propia.*

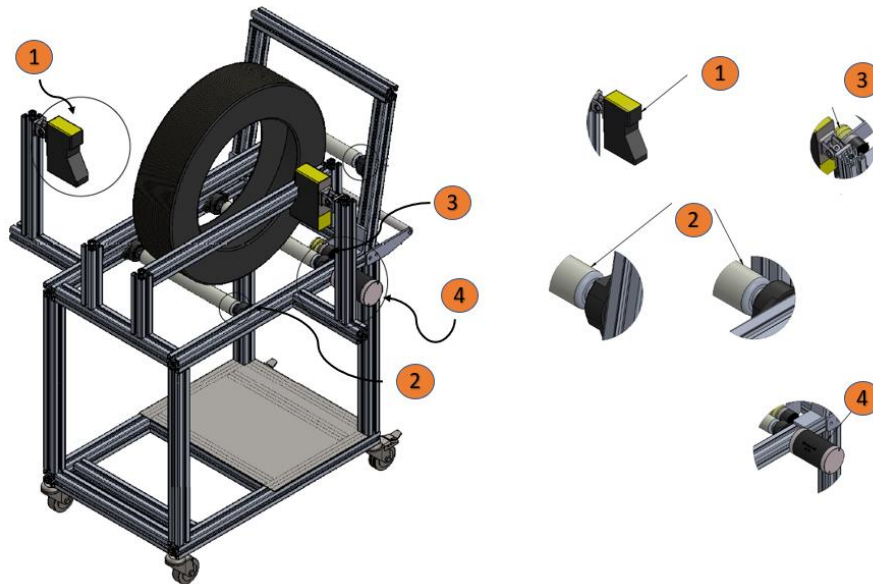
La Figura 37 muestra el isométrico de la estructura principal **1**, placa para protección **2**, ruedas **3**, para poder desplazar el sistema.



*Figura 37. Isométrico de la base de la estructura principal. Fuente: Elaboración Propia.*

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

En la Figura 38 se muestra el modelo isométrico final con referencias de los principales elementos del sistema, sensor 3D **1**, rodillos **2** para el giro del neumático, encoder **3** y motor de 24 VDC **4**. Cada parte del sistema se diseñó por separado y por último se realizó un ensamble de todas las partes que lo componen.



*Figura 38. Isométricos del diseño preliminar con detalle de los componentes del sistema. Fuente: Elaboración Propia.*

### **5.- Análisis de simulación de prototipo virtual**

Para el análisis del modelo en 3D, se propone un estudio estático para el cálculo de los esfuerzos y deformaciones a las que se someterá el sistema mientras se inspecciona el neumático. La finalidad del estudio es ver el comportamiento de la estructura al ser sometida al peso del neumático. Las caracterizaciones matemáticas de los materiales asignados a cada componente se estudian bajo un modelo elástico lineal isotrópico y sus respectivos límites de cedencia que se especifican en la Tabla 14.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

Tabla 14. Tabla de límites de cedencia de los materiales. Elaboración Propia.

| Componente         | Cantidad | Material        | Límite de Cedencia |
|--------------------|----------|-----------------|--------------------|
| Chumacera          | 6        | Hierro Fundido  | 150Mpa             |
| Perfil de Aluminio | 18       | Al 6063 T5      | 145Mpa             |
| Junta rexroth      | 2        | Al 6063 T5      | 145Mpa             |
| Tornillo flange    | 12       | Acero al carbón | 220Mpa             |
| Tuerca T           | 12       | Acero al carbón | 220Mpa             |

La simulación se hizo considerando la composición de los materiales utilizados para la fabricación del sistema y una carga máxima de 40.8 kg (400 N) como caída libre en representación del neumático.

Para las conexiones se usaron contactos tipo "no Penetration" para representar mejor la interacción entre ambas superficies.

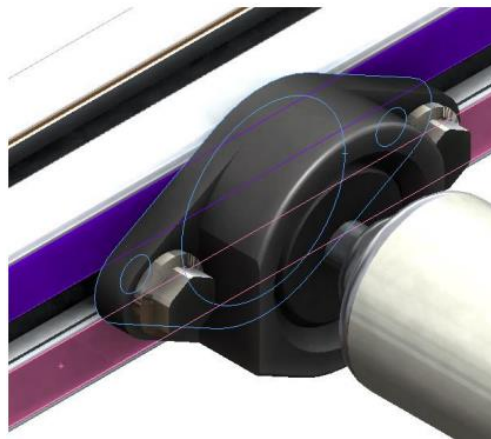


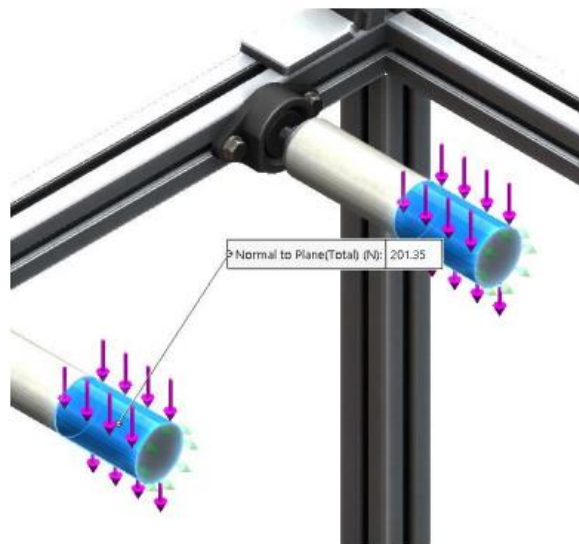
Figura 39. Detalle contacto entre chumacera y perfil de aluminio. Fuente: Elaboración Propia.

Se aplica una carga total equivalente al peso máximo posible del neumático, y un control de malla con tamaño de elemento de 5 mm en las chumaceras y ejes de los rodillos. La Figura 40 muestra los detalles de la malla.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

| Mesh Details                                  |   |
|---|---|
| Study name                                    | Evaluacion Peso (-Ensamble Simplificado-) |
| Mesh type                                     | Solid Mesh                                |
| Mesher Used                                   | Curvature-based mesh                      |
| Jacobian points                               | 16 points                                 |
| Mesh Control                                  | Defined                                   |
| Max Element Size                              | 60 mm                                     |
| Min Element Size                              | 20 mm                                     |
| Mesh quality                                  | High                                      |
| Total nodes                                   | 402325                                    |
| Total elements                                | 216115                                    |
| Maximum Aspect Ratio                          | 98571                                     |
| Percentage of elements with Aspect Ratio < 3  | 9.31                                      |
| Percentage of elements with Aspect Ratio > 10 | 60  |
| % of distorted elements (Jacobian)            | 0   |

*Figura 40. Detalles de malla. Fuente: Elaboración Propia.*



*Figura 41. Detalle de carga aplicada en los rodillos. Fuente: Elaboración Propia.*

Se seleccionó la escala de la gráfica en base al esfuerzo máximo del sistema, la deformación se muestra incrementada por 793 veces. El esfuerzo máximo aparente es de 24.8 Mpa, muy por debajo de los límites de cedencia de los materiales usados.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

El esfuerzo máximo aparente se localiza en la cara de la tuerca T de la chumacera más cercana a la agarradera, al aplicar refinamientos de malla el esfuerzo tiende a aumentar, al no ser simétrico y encontrarse en una zona de poca deformación.

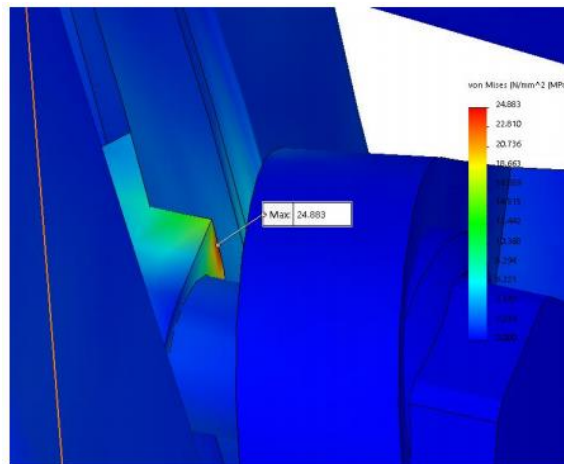


Figura 42. Detalle esfuerzo máximo. Fuente: Elaboración Propia.

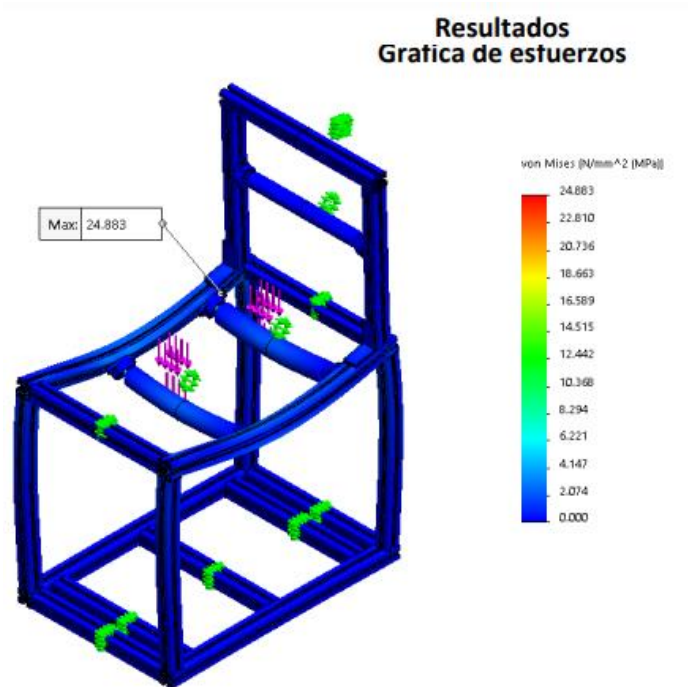


Figura 43. Gráfica de esfuerzos. Fuente: Elaboración Propia.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

Durante el estudio de deformación se aprecia una deformación elástica resultante de 0.143 mm sobre el eje "Y" en el rodillo más alejado de la agarradera, y un desplazamiento en la parte superior del ensamble de 0.152 mm en el eje "Z". La Figura 44 muestra la deformación incrementada 793 veces.

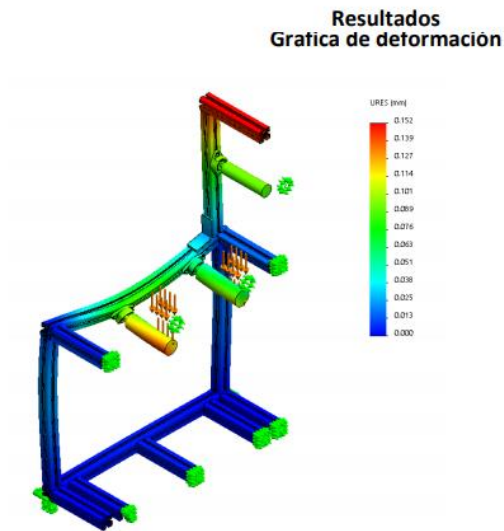


Figura 44. Gráfica de deformación. Fuente: Elaboración Propia.

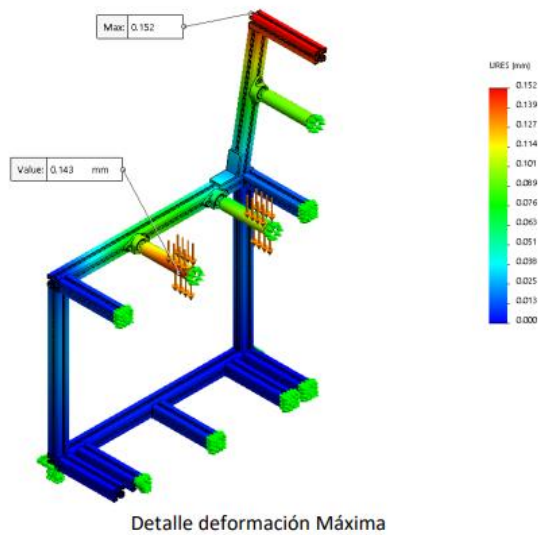


Figura 45. Detalle de la deformación máxima. Fuente: Elaboración Propia.





## **6.- Definición de prototipo virtual**

Después de realizar la simulación al diseño final se procede a realizar un análisis de las especificaciones para verificar su cumplimiento, de acuerdo con lo requerido en la fase 1 y comprobar que no existan carencias de información que dependan del contexto u otros aspectos.

*Tabla 15. Revisión de especificaciones del sistema propuesto por cada uno de los departamentos. Fuente:  
Elaboración Propia.*

| <b>DEPARTAMENTO DE CALIDAD</b> |                       |                  |   |
|--------------------------------|-----------------------|------------------|---|
| <b>No.</b>                     | <b>Categoría</b>      | <b>Alcanzado</b> | <b>Descripción</b>  |
| 1.1                            | Función               | ok               | Detección de rebabas superiores a 1 mm de altura en el costado del neumático.   |
| 1.2                            | Dimensiones           | ok               | El sistema debe medir y visualizar la rebaba detectada en mm.   |
| 1.3                            | Movimientos           | ok               | El neumático debe girar 360° para su completa inspección.   |
| 1.4                            | Fuerzas               | ok               | El desplazamiento del neumático deber ser en sentido horario.   |
| 1.5                            | Materiales            | ok               | Los materiales por utilizar no deben sufrir ninguna deformación durante la operación.   |
| 1.6                            | Señales y Control     | ok               | El sistema debe contar con software y hardware para realizar la inspección y la medición de las rebabas, se requiere una interfaz gráfica para visualizar los resultados. |
| 1.7                            | Fabricación y Montaje | ok               | Sistema flexible para realizar ajustes.   |
| 1.8                            | Vida útil             | ok               | Sistema robusto para no perder ajustes, temperatura de operación: 15 °C – 40 °C.  |
| 1.9                            | Mantenimiento         | ok               | El sistema debe contar con espacios accesibles para realizar el mantenimiento.  |

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

| DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS |                       |           |  |
|--|-----------------------|-----------|--|
| No.                                    | Categoría             | Alcanzado | Descripción  |
| 2.1                                    | Función               | ok        | El sistema debe ser capaz de hacer una inspección total en el área del costado del neumático para poder encontrar rebabas. |
| 2.2                                    | Dimensiones           | ok        | Diámetro exterior (mínimo: 400 mm, máximo: 800 mm). Diámetro interior (mínimo: 381 mm, máximo: 431 mm)                     |
|  |                       | ok        | Ancho del neumático (mínimo: 100 mm, máximo: 400 mm).  |
|  |                       | ok        | Ancho costado: mínimo: 90 mm, máximo: 150 mm.  |
|  |                       | ok        | Peso del neumático. (mínimo: 30 kg., máximo: 55 kg.)   |
| 2.3                                    | Movimientos           | ok        | El neumático debe colocarse en forma vertical y a una velocidad constante.   |
| 2.4                                    | Señales y Control     | ok        | Distancia de disparo < 1 mm.   |
| 2.5                                    | Fabricación y Montaje | ok        | La sección de trabajo debe de cumplir con la especificación del ancho del costado.   |
| 2.6                                    | Vida útil             | ok        | Sistema robusto para evitar desalineación del neumático.   |

| DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO |                       |           |   |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|---|
| No.                           | Categoría             | Alcanzado | Descripción   |
| 3.1                           | Dimensiones           | ok        | Dimensiones máximas: l:100 cm, a:120 cm, h:150 cm                     |
| 3.2                           | Energía               | ok        | Voltaje 24 VDC +/-10%, 110 AC +/-10%, 60 Hz.                          |
| 3.3                           | Materiales            | ok        | Perfil aluminio factor de seguridad.                                  |
| 3.4                           | Señales y Control     | ok        | Protocolo de comunicación: ethernet / RS232                           |
| 3.5                           | Fabricación y Montaje | ok        | Ajuste mínimo en x: 15 cm, y: 20 cm, ajuste mínimo de inclinación 60° |
| 3.6                           | Mantenimiento         | ok        | Mínimo mantenimiento requerido.                                       |

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

| DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y ERGONOMÍA |                   |           |   |
|---------------------------------------|-------------------|-----------|---|
| No.                                   | Categoría         | Alcanzado | Descripción   |
| 4.1                                   | Función           | ok        | La activación del sistema debe realizarse por medio de un botón. El láser debe permanecer apagado en caso de que el sistema no esté en operación. |
| 4.2                                   | Dimensiones       | ok        | Altura mínima 150 cm.   |
| 4.3                                   | Movimientos       | ok        | Puntos de pellizco asegurados, el usuario no debe tener injerencia en el sistema.   |
| 4.4                                   | Señales y Control | ok        | Láser clase 1,1M, 2, 2M.  |
| 4.5                                   | Mantenimiento     | ok        | Libre de derrames y fugas.  |

| DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN |                   |           |  |
|----------------------------|-------------------|-----------|--|
| No.                        | Categoría         | Alcanzado | Descripción  |
| 5.1                        | Función           | ok        | El tiempo de ciclo de medición por neumático deber ser $\leq 6$ segundos.                    |
| 5.2                        | Movimientos       | ok        | El neumático debe girar de manera automática sin manipulación del operador.                  |
| 5.3                        | Señales y Control | ok        | El sistema debe ser capaz de guardar los datos en una base de datos para posterior análisis. |

Para tener una mejor trazabilidad de los neumáticos, se modifica la especificación **5.3** de señales y control del Departamento de Producción. La modificación implica en agregar un escáner manual para que, por medio del operador, de lectura al código de barras del neumático, de esta manera se puede consultar en la base de datos local la prensa en la que el neumático fue vulcanizado y así se puedan realizar acciones para corregir el problema de origen. La Figura 47 muestra la arquitectura final del sistema.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

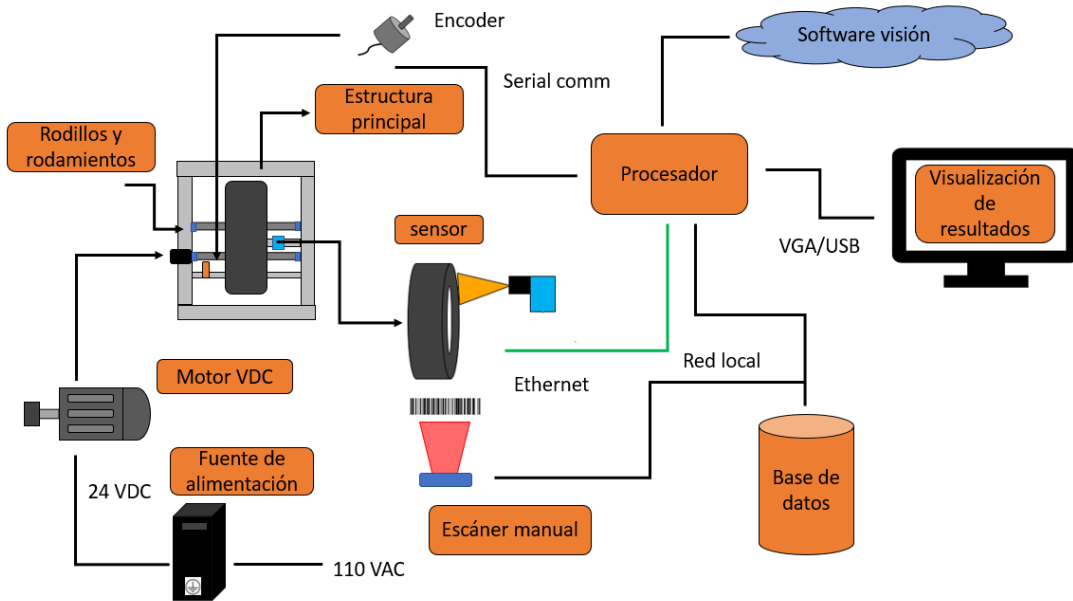


Figura 47. Arquitectura final de sistema para detección de rebaba en neumáticos. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Nivel 2 Construcción del prototipo

El objetivo es la evaluación y construcción física del prototipo basado en el prototipo virtual definido en el Nivel 1 de la espiral propuesta.

#### **Fases del nivel 2**

##### **1.- Definir principios de funcionamiento**

De acuerdo con el análisis realizado en la Tabla 6 usado para definir el sistema automático, se procede a definir los principios de funcionamiento de manera conjunta con los departamentos involucrados considerando las funciones manuales y automáticas deseadas.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

La Tabla 16 muestra las funciones en modo manual y automático que puede realizar el sistema. De acuerdo con el ancho del neumático la posición de los sensores puede variar y la modificación de estos parámetros al igual que los demás solo se podrán modificar en modo manual. El modo automático o manual será seleccionado por el operador siempre y cuando el sistema no esté trabajando.

*Tabla 16. Tabla de principios de funcionamiento del sistema. Fuente: Elaboración propia.*

| Nom. | Principios de Funcionamiento   | Operación |            |
|------|--|-----------|------------|
|      |  | Manual    | Automático |
| 1    | El sistema debe girar el neumático 360°, en sentido horario                  |           | x          |
| 2    | El sistema debe realizar una medición cada 0.22mm                            |           | x          |
| 3    | El sistema debe de contabilizar todos los defectos durante el giro           |           | x          |
| 4    | El sistema debe almacenar los resultados y las imágenes                      |           | x          |
| 5    | El sistema debe hacer una representación del defecto encontrado en 2D y 3D   |           | x          |
| 6    | El sistema solo debe girar una vez el neumático                              |           | x          |
| 7    | El sistema solo enciende cuando el láser cuando el neumático este girando    |           | x          |
| 8    | El sistema debe medir la altura de los defectos encontrados                  |           | x          |
| 9    | El sistema debe girar el neumático en sentido horario y antihorario          | x         |            |
| 10   | Ajuste de parámetros como distancia/ciclo, tipo de encoder, frecuencia, etc. | x         |            |
| 11   | Ajuste de rango de medición de acuerdo con el neumático                      | x         |            |
| 12   | Ajuste de cámara (pixeles)   | x         |            |
| 13   | Calibración de equipo  | x         |            |
| 14   | Ajuste de posición de encoder  | x         |            |
| 15   | Modificación de visualización de resultados                                  | x         |            |

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

La Figura 48, detalla el principal funcionamiento del ciclo manual automático.

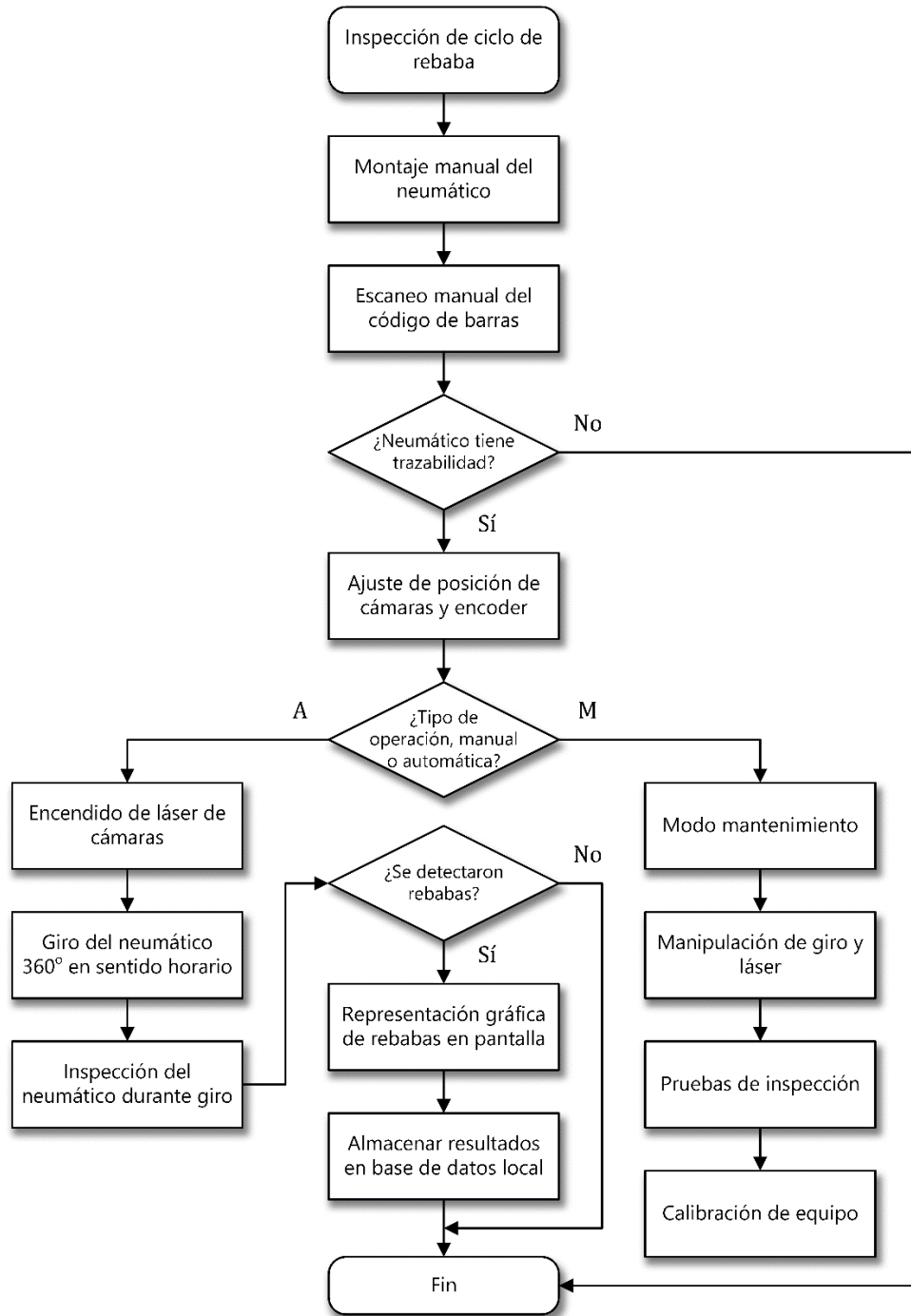


Figura 48. Diagrama de flujo. Fuente: Elaboración propia.

## **2.- Definición de funciones y estructura del Programa**

En la actualidad, cada equipo de visión tiene su propio software especializado de visión el cual contiene todas las herramientas necesarias para el desarrollo de la aplicación y estos no son compatibles con otros equipos.

El software por utilizar es VisionPro® y es compatible con los sensores elegidos en la Tabla 9, este software permite, de manera amigable, crear interfaces para el operador por medio de sus aplicaciones.

Durante esta fase se van a plantear las funciones que debe cumplir el programa para que sea confiable ante cualquier situación.

El programa debe cumplir con las siguientes características:

- Corrección, refiere a que se cumpla con el objetivo que se desea.
- Usabilidad, fácil de manejar en cualquiera de sus modos de operación y fácil de aprender.
- Flexibilidad, es necesario que el programa pueda ser modificado en caso de ser necesario.

Tomando en consideración estas características se elaboró una lista de funciones básicas que el programa debe tener para cumplir con el objetivo. Estas funciones se discutieron con el equipo, la Tabla 17 indica las funciones básicas que el programa debe tener para poder manipular el equipo. Estos requerimientos son principalmente de la interfaz que el sistema debe tener con el usuario.



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

*Tabla 17. Listado de funciones básicas para la estructura del programa. Fuente: Elaboración Propia.*

| <b>Nom.</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Requisito</b> | <b>Deseo</b> |
|-------------|---|------------------|--------------|
| 1.1         | Al encender el sistema el programa debe ejecutarse de manera automática                     | x                |              |
| 1.2         | La visualización debe contar con un botón para cerrar el programa                           | x                |              |
| 1.3         | La visualización debe mostrar el resultado de la medición en mm y/o pulgadas                | x                |              |
| 1.4         | La visualización debe contar con un botón que indique el defecto                            | x                |              |
| 1.5         | La visualización debe mostrar la imagen en 2D   |                  | x            |
| 1.6         | La visualización debe mostrar la imagen en 3D   | x                |              |
| 1.7         | Los resultados obtenidos deben almacenarse de manera automática para poder ser descargados. | x                |              |

El programa debe tener un proceso periódico de actualización y optimización, esto con la finalidad de poder depurar errores y potenciar las funciones del programa.

### **3.- Desarrollo del Programa**

Para desarrollar la aplicación se utiliza la programación basada en diagramas de bloques, la cual describe la función entre las variables de entrada y de salida. Por medio de enlaces se van a conectar las variables de entrada con las de salida de los diferentes bloques. La Figura 49, muestra la secuencia final de la aplicación diseñada por medio del diagrama de bloques.

Como primer paso se carga el tipo de sensor 3D que se va a utilizar, toda la configuración del dispositivo se encuentra integrado en el bloque 1, o bloque de adquisición. Este bloque se encarga de adquirir los datos y transferirlos a los siguientes bloques.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

La información obtenida por el bloque de adquisición se guarda y se procesa en paralelo mediante los bloques **2** y **3**, este último es el encargado de generar la imagen en 3D para su posterior análisis.

Por medio de la imagen generada en el bloque **3** se analizará la rebaba detectada y por medio del bloque 4 se mide la altura de esta. El bloque **5** es el encargado de transferir los resultados obtenidos de la medición en una base de datos.

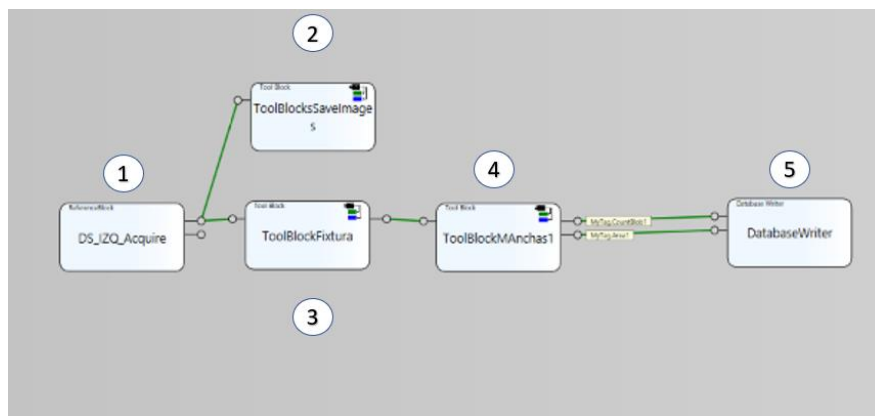


Figura 49. Diagrama de bloques. Fuente: Elaboración propia

La Figura 50 muestra la interfaz del operador diseñada por medio del software del sistema de visión. Esta interfaz cuenta con los siguiente:

- Botón para cerrar la aplicación (1)
- Botón para indicar cuando se está realizando la medición (2)
- Botón para acceder a la base de datos con los resultados (3)
- Espacio para visualizar imagen en 2D y 3D (4)
- Botón para indicar resultado de la medición (5)

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

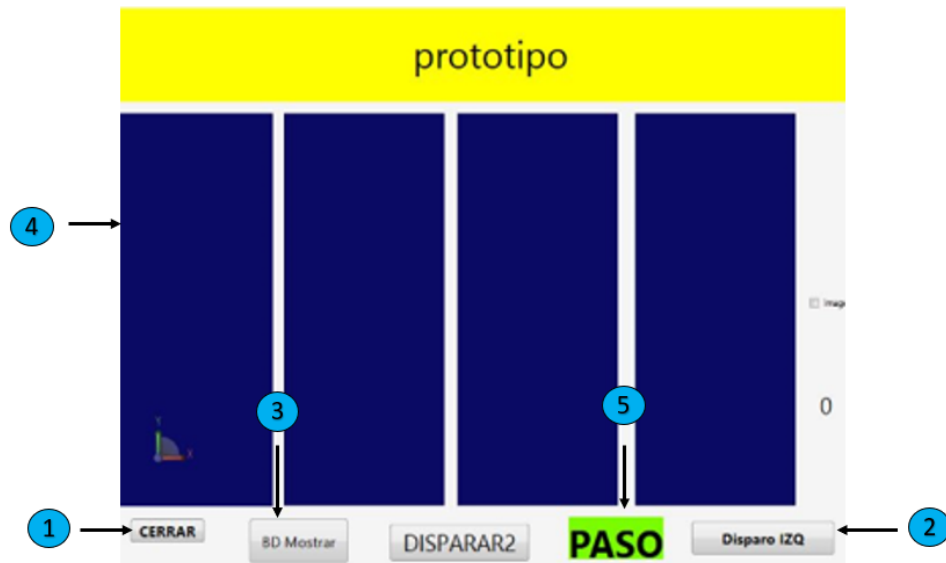


Figura 50. Interfaz sistema-operador. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 51 muestra la pantalla de la base de datos con los resultados derivados de la inspección. Para acceder a esta pantalla es necesario presionar el botón **3**. La columna **1** muestra las rebabas detectadas y la columna **2** la altura de la rebaba.

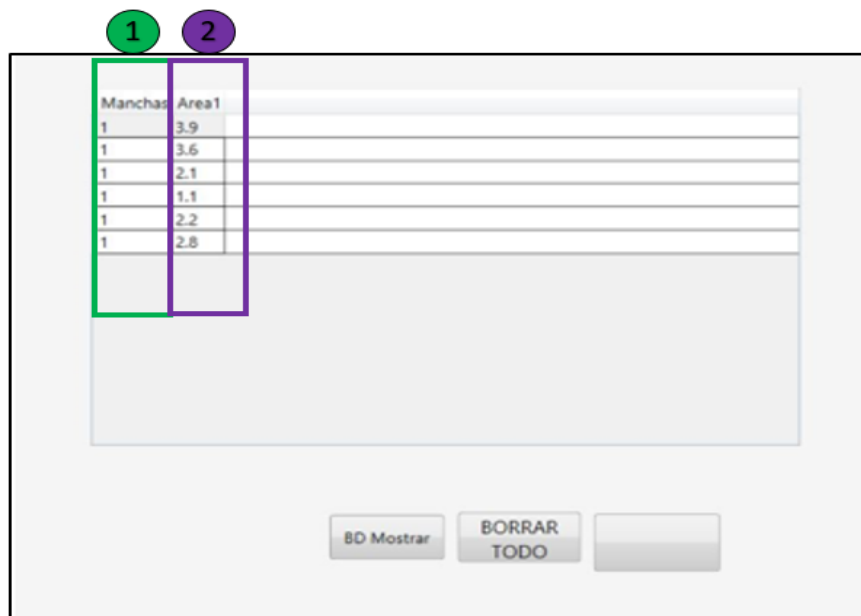


Figura 51. Pantalla de resultados. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.- Construcción del Prototipo**

La manufactura de este prototipo se realizó dentro de las instalaciones de una empresa encargada de fabricar neumáticos.

La realización del prototipo contempla los siguientes pasos:

1.- Fabricación de estructura de acuerdo con perfil seleccionado, para el corte de los perfiles se tomaron las medidas de los planos del diseño preliminar. En la unión de los perfiles se utilizó tornillería S6X16-T25.

2.- Colocación de rodillos de 45 cm con lija antiderrapante para giro del neumático.



*Figura 52. Estructura principal. Fuente: Elaboración propia.*

3.- Instalación de encoder con disco de acoplamiento



*Figura 53. Estructura principal. Fuente: Elaboración propia.*

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

4.- Fabricación de estación con perfil de aluminio para colocación del controlador y monitor.



*Figura 54. Estación de control. Fuente: Elaboración propia.*

5.- Colocación de soportes de perfil de aluminio y sensores 3D. Durante este paso también se realiza la conexión al controlador.

La Figura 55 muestra el prototipo final.



*Figura 55. Prototipo Final: Sistema de detección de rebaba. Fuente: Elaboración propia.*

## **5.- Evaluación de prototipo**

El objetivo principal de esta evaluación mediante estudios estadísticos es comprobar que el sistema de inspección propuesto es confiable y de esta manera poder sustituir el método de inspección actual realizado por operadores.

De acuerdo con la sección 1.9 *alcance*, el modelo del neumático a utilizar en los estudios para evaluar al sistema es el siguiente:

- Diámetro exterior: 620 mm
- Diámetro interior: 406 mm
- Ancho de la sección: 200 mm

Para validar el sistema propuesto se van a realizar los siguientes estudios estadísticos propuestos en la sección 2.4 *indicadores*.

### **Estudio R&R de concordancia por atributos**

Para poder hacer una comparativa de la efectividad del actual sistema de inspección visual con el sistema propuesto, se propone realizar un estudio de concordancia por atributos de aceptación o rechazo. La aplicación del estudio R&R trata de reducir o eliminar el impacto de la subjetividad de dictamen de los evaluadores, ya que el dictamen es el resultado de una apreciación personal, de la experiencia obtenida y el nivel de preparación del evaluador.

Para este estudio se requiere un mínimo de 50 muestras de acuerdo con el manual del Análisis del Sistema de Mediciones o MSA. (Company, Raytheon, 2003), la selección de las muestras debe estar basadas en la distribución normal del proceso y deben contener muestras que estén dentro y fuera de las tolerancias especificadas. Para el estudio la especificación de altura máxima de rebaba es de 1 mm y la tolerancia es de +1 mm de acuerdo con los requerimientos señalados.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Las muestras que se van a utilizar serán recolectadas de 3 diferentes turnos de operación y de diferentes prensas de vulcanización.

Una vez elegidos los neumáticos se deben identificar para asegurar que siempre se mida la misma área y eliminar la influencia de la geometría de la muestra (neumático), una vez teniendo las muestras identificadas se debe determinar el valor conocido de la altura de la rebaba.

Los valores conocidos de cada una de las muestras se van a identificar realizando la medición de la altura de la rebaba mediante una regla métrica y se van a catalogar de la siguiente manera:

- C = Rebabas  $\leq 1$  mm
- N = Rebabas  $> 1$  mm

Este proceso se va a realizar mediante un inspector, el cual es experto en el proceso de identificación de estas.

Para definir si el sistema propuesto es el adecuado por encima del actual se va a evaluar la aceptabilidad mediante el coeficiente cappa de Cohen y la eficacia de cada uno de los sistemas.

El porcentaje de coeficiente de Cohen compara la concordancia observada entre los evaluadores y el valor conocido, si la concordancia no es buena se tiene el riesgo que artículos malos son aceptados y artículos buenos son rechazados. También se va a calcular la eficacia para medir el logro de los resultados de cada operador, entre operadores y en comparación con el valor conocido.

La Tabla 18, muestra los valores conocidos de la altura de la rebaba, y el historial de producción de cada muestra.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Tabla 18. Tabla de valores conocidos. Fuente: Elaboración Propia.

| Neumático | Semana producción | Turno | Línea | Prensa | Valor conocido Rebaba (mm) |
|-----------|-------------------|-------|-------|--------|----------------------------|
| 1         | W4                | A     | E     | 7      | C                          |
| 2         | W4                | A     | E     | 7      | C                          |
| 3         | W4                | A     | F     | 7      | C                          |
| 4         | W4                | A     | F     | 8      | C                          |
| 5         | W4                | A     | F     | 8      | N                          |
| 6         | W4                | A     | H     | 5      | C                          |
| 7         | W4                | A     | H     | 5      | C                          |
| 8         | W4                | A     | H     | 5      | C                          |
| 9         | W4                | B     | H     | 5      | N                          |
| 10        | W4                | B     | H     | 5      | C                          |
| 11        | W4                | B     | H     | 7      | C                          |
| 12        | W4                | B     | H     | 7      | N                          |
| 13        | W4                | B     | E     | 5      | C                          |
| 14        | W4                | B     | E     | 5      | C                          |
| 15        | W4                | B     | E     | 7      | N                          |
| 16        | W4                | C     | E     | 7      | N                          |
| 17        | W4                | C     | E     | 7      | C                          |
| 18        | W4                | C     | E     | 5      | C                          |
| 19        | W4                | C     | H     | 7      | N                          |
| 20        | W4                | C     | H     | 7      | C                          |
| 21        | W4                | C     | H     | 11     | C                          |
| 22        | W4                | C     | H     | 11     | C                          |
| 23        | W4                | C     | J     | 5      | C                          |
| 24        | W4                | C     | J     | 5      | C                          |
| 25        | W4                | C     | J     | 5      | C                          |
| 26        | W5                | A     | K     | 6      | N                          |
| 27        | W5                | A     | K     | 6      | C                          |
| 28        | W5                | A     | K     | 6      | C                          |



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

|    |    |   |   |    |   |
|----|----|---|---|----|---|
| 29 | W5 | A | J | 5  | N |
| 30 | W5 | A | J | 5  | N |
| 31 | W5 | A | F | 10 | C |
| 32 | W5 | A | F | 10 | C |
| 33 | W5 | B | E | 7  | N |
| 34 | W5 | B | E | 7  | N |
| 35 | W5 | B | E | 9  | C |
| 36 | W5 | B | H | 12 | C |
| 37 | W5 | B | H | 12 | C |
| 38 | W5 | B | H | 12 | C |
| 39 | W5 | B | H | 2  | N |
| 40 | W5 | B | K | 6  | C |
| 41 | W5 | B | K | 6  | N |
| 42 | W5 | B | K | 6  | C |
| 43 | W5 | C | F | 10 | C |
| 44 | W5 | C | F | 5  | C |
| 45 | W5 | C | F | 5  | N |
| 46 | W5 | C | F | 5  | C |
| 47 | W5 | C | J | 5  | C |
| 48 | W5 | C | J | 5  | N |
| 49 | W5 | C | J | 3  | C |
| 50 | W5 | C | J | 3  | C |

Una vez identificados los valores conocidos se procede a realizar primeramente el estudio de la inspección y luego se va a realizar el estudio del sistema propuesto. Al final de los dos estudios se van a comparar para ver la eficiencia del sistema propuesto y ver la factibilidad de sustituir al sistema actual.

Para el estudio del sistema actual se van a inspeccionar las 50 muestras de valor conocido por 3 operadores de diferentes turnos (A, B, C), cada operador se va a encargar de inspeccionar cada muestra 3 veces de manera aleatoria.



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

|    |   |   |   |    |   |   |   |    |   |   |   |    |   |
|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|
| 36 | N | C | N | 36 | C | C | C | 36 | C | C | C | 36 | C |
| 37 | C | C | N | 37 | C | C | C | 37 | C | C | C | 37 | C |
| 38 | C | C | C | 38 | C | C | C | 38 | N | C | C | 38 | C |
| 39 | C | C | C | 39 | C | C | C | 39 | C | C | N | 39 | N |
| 40 | N | C | C | 40 | N | N | N | 40 | N | N | N | 40 | C |
| 41 | N | C | N | 41 | N | C | N | 41 | N | C | N | 41 | N |
| 42 | N | C | N | 42 | N | C | C | 42 | N | C | C | 42 | C |
| 43 | C | N | N | 43 | C | N | N | 43 | N | C | C | 43 | C |
| 44 | C | N | C | 44 | C | N | C | 44 | C | N | C | 44 | C |
| 45 | C | N | C | 45 | C | C | C | 45 | C | C | C | 45 | N |
| 46 | C | C | C | 46 | C | N | C | 46 | C | N | C | 46 | C |
| 47 | C | N | C | 47 | N | C | C | 47 | N | N | C | 47 | C |
| 48 | C | N | C | 48 | C | N | C | 48 | C | N | C | 48 | N |
| 49 | C | N | C | 49 | C | C | C | 49 | C | C | C | 49 | C |
| 50 | C | C | C | 50 | N | C | N | 50 | N | C | C | 50 | C |

Tabla 20. Resultados de estudio de concordancia por atributos GR&R. Fuente: Elaboración Propia.

| Lugar: <b>San Luis Potosi</b>  |                                 | <b>MSA</b>                            |                          | Page 2  |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---|---------------|---------------------------------|-------|-------|---|---------------------------------|-------|---|---|----------|---|----|-------|-------|-------|---|-------|------------------|-------|-------|----|-------|-------|----|-------|----------|---------------|-------|-------|----|---|----|----|----|----|------------------|----|---|--|--|----|----|----|----|------------------|---|--|--|--|---|----|----|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Estudio de concordancia por atributos GR&R   |                                 | área de aplicación: <b>Inspección</b> |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>Datos</b> (Data Input in Yellow Fields)   |                                 |                                       |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Sistema de inspección:   | <b>inspección visual</b>        | Muestra:                              | <b>620mm/406mm/200mm</b> | Datos:  |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Número:  | <b>NA</b>                       | Característica:                       | <b>Rebaba en costado</b> | <b>13-feb-20</b>  |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  |                                 |                                       |                          | Comentarios: los neumáticos no conformes tienen un rango de altura de rebaba de (1<mm- 4mm) |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>Análisis</b>  |                                 |                                       |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">B</th> <th colspan="2">C</th> <th colspan="2">Known</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>N</th> <th>C</th> <th>N</th> <th>C</th> <th>N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">A</td> <td>C</td> <td>84</td> <td>20</td> <td>82</td> <td>22</td> <td>75</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>19</td> <td>27</td> <td>28</td> <td>18</td> <td>30</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">B</td> <td>C</td> <td></td> <td></td> <td>89</td> <td>14</td> <td>73</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td>21</td> <td>26</td> <td>32</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">C</td> <td>C</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>82</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>23</td> <td>17</td> </tr> </tbody> </table>  |                                 |                                       |                          |   |               |                                 | B     |       | C |                                 | Known |   | C | N        | C | N  | C     | N     | A     | C | 84    | 20               | 82    | 22    | 75 | 29    | N     | 19 | 27    | 28       | 18            | 30    | 16    | B  | C |    |    | 89 | 14 | 73               | 30 | N |  |  | 21 | 26 | 32 | 15 | C                | C |  |  |  |   | 82 | 28 | N |             |       |       |       | 23    | 17    |       |       |       |
|  |                                 | B                                     |                          | C   |               |                                 | Known |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  |                                 | C                                     | N                        | C   | N             | C                               | N     |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A  | C                               | 84                                    | 20                       | 82  | 22            | 75                              | 29    |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | N                               | 19                                    | 27                       | 28  | 18            | 30                              | 16    |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| B  | C                               |                                       |                          | 89  | 14            | 73                              | 30    |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | N                               |                                       |                          | 21  | 26            | 32                              | 15    |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| C  | C                               |                                       |                          |   |               | 82                              | 28    |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | N                               |                                       |                          |   |               | 23                              | 17    |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Cohen's KAPPA</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>conocido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>--</td> <td>0.392</td> <td>0.187</td> <td>0.069</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.392</td> <td>--</td> <td>0.435</td> <td>0.028</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0.187</td> <td>0.435</td> <td>--</td> <td>0.164</td> </tr> <tr> <td>Conocido</td> <td>0.069</td> <td>0.028</td> <td>0.164</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table>   |                                 |                                       |                          |   | Cohen's KAPPA |                                 |       |       |   |                                 | A     | B | C | conocido | A | -- | 0.392 | 0.187 | 0.069 | B | 0.392 | --               | 0.435 | 0.028 | C  | 0.187 | 0.435 | -- | 0.164 | Conocido | 0.069         | 0.028 | 0.164 | -- |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Cohen's KAPPA  |                                 |                                       |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | A                               | B                                     | C                        | conocido  |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| A  | --                              | 0.392                                 | 0.187                    | 0.069   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| B  | 0.392                           | --                                    | 0.435                    | 0.028   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| C  | 0.187                           | 0.435                                 | --                       | 0.164   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Conocido   | 0.069                           | 0.028                                 | 0.164                    | --  |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4">concordancia entre repeticiones</th> <th colspan="4">concordancia con valor conocido</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>All</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>ALL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muestras totales</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>coincidencias</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>5</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Falsos negativos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Falsos positivos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4</td> <td>5</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>efectividad</td> <td>32.0%</td> <td>36.0%</td> <td>38.0%</td> <td>10.0%</td> <td>24.0%</td> <td>24.0%</td> <td>32.0%</td> <td>10.0%</td> </tr> </tbody> </table> |                                 |                                       |                          |   |               | concordancia entre repeticiones |       |       |   | concordancia con valor conocido |       |   |   | A        | B | C  | All   | A     | B     | C | ALL   | Muestras totales | 50    | 50    | 50 | 50    | 50    | 50 | 50    | 50       | coincidencias | 16    | 18    | 19 | 5 | 12 | 12 | 16 | 5  | Falsos negativos |    |   |  |  | 0  | 1  | 1  |    | Falsos positivos |   |  |  |  | 4 | 5  | 2  |   | efectividad | 32.0% | 36.0% | 38.0% | 10.0% | 24.0% | 24.0% | 32.0% | 10.0% |
|  | concordancia entre repeticiones |                                       |                          |   |               | concordancia con valor conocido |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | A                               | B                                     | C                        | All   | A             | B                               | C     | ALL   |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Muestras totales   | 50                              | 50                                    | 50                       | 50  | 50            | 50                              | 50    | 50    |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| coincidencias  | 16                              | 18                                    | 19                       | 5   | 12            | 12                              | 16    | 5     |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Falsos negativos   |                                 |                                       |                          |   | 0             | 1                               | 1     |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Falsos positivos   |                                 |                                       |                          |   | 4             | 5                               | 2     |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| efectividad  | 32.0%                           | 36.0%                                 | 38.0%                    | 10.0%   | 24.0%         | 24.0%                           | 32.0% | 10.0% |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>Resultados</b>  |                                 |                                       |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <p align="center">El sistema de inspección es aceptable? <span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; padding: 2px;">YES</span> <span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; padding: 2px; color: red;">X</span> NO</p>  |                                 |                                       |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Cohen's Kappa  | Effectiveness                   |                                       |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| ≥ 0.75   | ≥ 90%                           | Aceptable                             |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0.40 - 0.75  | 80 - 90%                        | Marginalmente aceptable               |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| < 0.40   | < 80%                           | El sistema no es aceptable            |                          |   |               |                                 |       |       |   |                                 |       |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |                  |       |       |    |       |       |    |       |          |               |       |       |    |   |    |    |    |    |                  |    |   |  |  |    |    |    |    |                  |   |  |  |  |   |    |    |   |             |       |       |       |       |       |       |       |       |

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

Una vez realizado el estudio R&R de concordancia por atributos al sistema actual se procede a realizarlo en el sistema propuesto para este estudio se van a utilizar las mismas muestras de valor conocido con la diferencia de utilizar el sistema automático en lugar de operadores.

Debido a que no es posible hacer la validación en línea debido a la complejidad de modificar el proceso actual, el prototipo se va a validar fuera de línea bajo las mismas condiciones en que opera el sistema de inspección actual. La distancia del sensor al neumático será de 220 mm y con un ángulo de  $\theta = 90^\circ$ , esto aplicará para cada una de las mediciones.

El sistema va a inspeccionar la misma muestra 3 veces de manera aleatoria y el estudio se va a realizar en diferentes turnos (A, B, C).

La Tabla 21 y Tabla 22 muestran los resultados obtenidos del estudio R&R de concordancia por atributos.

**Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos**

Tabla 21. Estudio de concordancia por atributos GR&R al sistema propuesto. Fuente: Elaboración propia.

|  |                 | MSA  |                   | max                |   |          |          |                |          |          |          |      |                |
|--|-----------------|--|-------------------|--------------------|---|----------|----------|----------------|----------|----------|----------|------|----------------|
| Lugar  | San Luis Potosí | Estudio de concordancia por atributos GR&R |                   | área de aplicación |   |          |          |                |          |          |          |      |                |
|  |                 |  |                   | Inspección         |   |          |          |                |          |          |          |      |                |
| datos  |                 | (Data Input in Yellow Fields)              |                   |                    |   |          |          |                |          |          |          |      |                |
| Sistema de Inspección:   | automatico      | Muestra:                                   | 620mm/406mm/200mm | Fecha:             | 020/02/2020   |          |          |                |          |          |          |      |                |
| Número:  | 1               | Característica:                            | Rebaba en costado | Comentarios:       | los neumáticos no conformes tienen un rango de altura de rebaba de (1-mm - 4mm) |          |          |                |          |          |          |      |                |
| Clasificación: C = OK, Conforme o Aceptado N = No OK, No conforme, Rechazado |                 |  |                   |                    |   |          |          |                |          |          |          |      |                |
|  |                 | A  |                   | B                  |   | C        |          | valor conocido |          |          |          |      |                |
| Part   | Trrial 1        | Trrial 2                                   | Trrial 3          | Part               | Trrial 1  | Trrial 2 | Trrial 3 | Part           | Trrial 1 | Trrial 2 | Trrial 3 | Part | valor conocido |
| 1  | C               | C  | C                 | 1                  | C   | C        | C        | 1              | C        | C        | C        | 1    | C              |
| 2  | C               | C  | C                 | 2                  | C   | C        | C        | 2              | C        | N        | C        | 2    | C              |
| 3  | C               | C  | C                 | 3                  | C   | C        | C        | 3              | C        | C        | C        | 3    | C              |
| 4  | C               | C  | C                 | 4                  | C   | C        | C        | 4              | C        | C        | C        | 4    | C              |
| 5  | N               | N  | N                 | 5                  | N   | N        | N        | 5              | N        | N        | N        | 5    | N              |
| 6  | C               | C  | C                 | 6                  | C   | C        | C        | 6              | C        | C        | C        | 6    | C              |
| 7  | C               | C  | C                 | 7                  | C   | C        | C        | 7              | C        | C        | C        | 7    | C              |
| 8  | C               | C  | C                 | 8                  | C   | C        | C        | 8              | C        | C        | C        | 8    | C              |
| 9  | N               | N  | N                 | 9                  | N   | N        | N        | 9              | N        | N        | N        | 9    | N              |
| 10   | C               | C  | C                 | 10                 | C   | C        | C        | 10             | C        | C        | C        | 10   | C              |
| 11   | C               | C  | C                 | 11                 | C   | C        | C        | 11             | C        | C        | C        | 11   | C              |
| 12   | N               | N  | N                 | 12                 | N   | N        | N        | 12             | N        | N        | N        | 12   | N              |
| 13   | C               | C  | C                 | 13                 | C   | C        | C        | 13             | C        | C        | C        | 13   | C              |
| 14   | C               | C  | C                 | 14                 | C   | C        | C        | 14             | C        | C        | C        | 14   | C              |
| 15   | N               | N  | N                 | 15                 | N   | N        | N        | 15             | N        | N        | N        | 15   | N              |
| 16   | N               | N  | N                 | 16                 | N   | N        | N        | 16             | N        | N        | N        | 16   | N              |
| 17   | C               | C  | C                 | 17                 | C   | C        | C        | 17             | C        | C        | C        | 17   | C              |
| 18   | C               | C  | C                 | 18                 | C   | C        | C        | 18             | C        | C        | C        | 18   | C              |
| 19   | N               | N  | N                 | 19                 | N   | N        | N        | 19             | N        | N        | N        | 19   | N              |
| 20   | C               | C  | C                 | 20                 | C   | N        | C        | 20             | C        | C        | C        | 20   | C              |
| 21   | C               | C  | C                 | 21                 | C   | C        | C        | 21             | C        | C        | C        | 21   | C              |
| 22   | C               | C  | C                 | 22                 | C   | C        | C        | 22             | C        | C        | C        | 22   | C              |
| 23   | C               | C  | C                 | 23                 | C   | C        | C        | 23             | C        | C        | C        | 23   | C              |
| 24   | C               | C  | C                 | 24                 | C   | C        | C        | 24             | C        | C        | C        | 24   | C              |
| 25   | C               | C  | C                 | 25                 | C   | C        | C        | 25             | C        | C        | C        | 25   | C              |
| 26   | N               | N  | N                 | 26                 | N   | N        | N        | 26             | N        | N        | N        | 26   | N              |
| 27   | C               | C  | C                 | 27                 | C   | C        | C        | 27             | C        | C        | C        | 27   | C              |
| 28   | C               | C  | C                 | 28                 | C   | C        | C        | 28             | C        | C        | C        | 28   | C              |
| 29   | N               | N  | N                 | 29                 | N   | N        | N        | 29             | N        | N        | N        | 29   | N              |
| 30   | N               | N  | N                 | 30                 | N   | N        | N        | 30             | N        | N        | N        | 30   | N              |
| 31   | C               | C  | C                 | 31                 | C   | C        | C        | 31             | C        | C        | C        | 31   | C              |
| 32   | C               | C  | C                 | 32                 | C   | C        | C        | 32             | C        | C        | C        | 32   | C              |
| 33   | N               | N  | N                 | 33                 | N   | N        | N        | 33             | N        | N        | N        | 33   | N              |
| 34   | N               | N  | N                 | 34                 | N   | N        | N        | 34             | N        | N        | N        | 34   | N              |
| 35   | C               | C  | C                 | 35                 | C   | C        | C        | 35             | C        | C        | C        | 35   | C              |

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

|    |   |   |   |
|----|---|---|---|
| 36 | C | C | C |
| 37 | C | C | C |
| 38 | C | C | C |
| 39 | N | N | N |
| 40 | C | C | C |
| 41 | N | N | N |
| 42 | C | C | C |
| 43 | C | C | C |
| 44 | C | C | C |
| 45 | N | N | N |
| 46 | C | C | C |
| 47 | C | C | C |
| 48 | N | N | N |
| 49 | C | C | C |
| 50 | C | C | C |

|    |   |   |   |
|----|---|---|---|
| 36 | C | C | C |
| 37 | C | C | C |
| 38 | C | C | C |
| 39 | N | N | N |
| 40 | C | C | C |
| 41 | N | N | N |
| 42 | C | C | C |
| 43 | C | C | C |
| 44 | C | C | C |
| 45 | N | N | N |
| 46 | C | C | C |
| 47 | C | C | C |
| 48 | N | N | N |
| 49 | C | C | C |
| 50 | C | C | C |

|    |   |   |   |
|----|---|---|---|
| 36 | C | C | C |
| 37 | C | C | C |
| 38 | C | C | C |
| 39 | N | N | N |
| 40 | C | C | C |
| 41 | N | N | N |
| 42 | C | C | C |
| 43 | C | C | C |
| 44 | C | C | C |
| 45 | N | N | N |
| 46 | C | C | C |
| 47 | C | C | C |
| 48 | N | N | N |
| 49 | C | C | C |
| 50 | C | C | C |

|    |   |
|----|---|
| 36 | C |
| 37 | C |
| 38 | C |
| 39 | N |
| 40 | C |
| 41 | N |
| 42 | C |
| 43 | C |
| 44 | C |
| 45 | N |
| 46 | C |
| 47 | C |
| 48 | N |
| 49 | C |
| 50 | C |

**Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos**

Tabla 22. Resultados de estudio de concordancia por atributos GR&R al sistema propuesto. Fuente: Elaboración Propia.

| <b>Lugar</b> <input type="text" value="San Luis Potosi"/>  | <b>MSA</b><br><b>Estudio de concordancia por atributos GR&amp;R</b>   | Page 2<br><b>área de aplicación</b><br><input type="text" value="Inspección"/>  |              |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|--|---|---|--------------|--------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|--|---|--|---|--|-------|--|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|-----|---|-----|---|---|---|----|---|----|---|----|---|---|--|--|-----|---|-----|---|---|--|--|---|----|---|----|---|---|--|--|--|--|-----|---|---|--|--|--|--|---|----|---------------|--|--|--|--|--|---|---|---|----------|---|----|-------|-------|-------|---|-------|----|-------|-------|---|-------|-------|----|-------|----------|-------|-------|-------|----|--|-------------|--|--|--|--|--|--|--|---------------------------------|--|--|--|---------------------------------|--|--|--|---|---|---|-----|---|---|---|-----|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|------------------|--|--|--|--|---|---|---|--|------------------|--|--|--|--|---|---|---|--|--------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Datos</b> (Data Input in Yellow Fields)   |   |   |              |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Sistema de Inspección: <input type="text" value="automatico"/><br>Número: <input type="text" value="1"/>   | Muestra: <input type="text" value="620mm/406mm/200mm"/><br>Característica: <input type="text" value="Rebaba en costado"/> | Fecha: <input type="text" value="020/02/2020"/><br>Comentarios: <input type="text" value="los neumáticos no conformes tienen un rango de altura de rebaba de (1&lt;mm - 4mm)"/> |              |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| <b>Análisis</b>  |   |   |              |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="8">COUNTS</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">B</th> <th colspan="2">C</th> <th colspan="2">Known</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>C</th> <th>N</th> <th>C</th> <th>N</th> <th>C</th> <th>N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th rowspan="2">A</th> <th>C</th> <td>104</td> <td>1</td> <td>104</td> <td>1</td> <td>105</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>N</th> <td>0</td> <td>45</td> <td>0</td> <td>45</td> <td>0</td> <td>45</td> </tr> <tr> <th rowspan="2">B</th> <th>C</th> <td></td> <td></td> <td>103</td> <td>1</td> <td>104</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>N</th> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>45</td> <td>1</td> <td>45</td> </tr> <tr> <th rowspan="2">C</th> <th>C</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>104</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>N</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>45</td> </tr> </tbody> </table><br><table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5">Cohen's KAPPA</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>conocido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>--</td> <td>0.984</td> <td>0.984</td> <td>1.000</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td>0.984</td> <td>--</td> <td>0.969</td> <td>0.984</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td>0.984</td> <td>0.969</td> <td>--</td> <td>0.984</td> </tr> <tr> <th>Conocido</th> <td>1.000</td> <td>0.984</td> <td>0.984</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table><br><table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="3"></th> <th colspan="8">efectividad</th> </tr> <tr> <th colspan="4">concordancia entre repeticiones</th> <th colspan="4">concordancia con valor conocido</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>All</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>ALL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muestras totales</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>coincidencias</td> <td>50</td> <td>49</td> <td>49</td> <td>48</td> <td>50</td> <td>49</td> <td>49</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>Falsos negativos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Falsos positivos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>efectividad</b></td> <td><b>100.0%</b></td> <td><b>98.0%</b></td> <td><b>98.0%</b></td> <td><b>96.0%</b></td> <td><b>100.0%</b></td> <td><b>98.0%</b></td> <td><b>98.0%</b></td> <td><b>96.0%</b></td> </tr> </tbody> </table> |   |   | COUNTS       |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  | B |  | C |  | Known |  |  |  | C | N | C | N | C | N | A | C | 104 | 1 | 104 | 1 | 105 | 0 | N | 0 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45 | B | C |  |  | 103 | 1 | 104 | 0 | N |  |  | 1 | 45 | 1 | 45 | C | C |  |  |  |  | 104 | 0 | N |  |  |  |  | 1 | 45 | Cohen's KAPPA |  |  |  |  |  | A | B | C | conocido | A | -- | 0.984 | 0.984 | 1.000 | B | 0.984 | -- | 0.969 | 0.984 | C | 0.984 | 0.969 | -- | 0.984 | Conocido | 1.000 | 0.984 | 0.984 | -- |  | efectividad |  |  |  |  |  |  |  | concordancia entre repeticiones |  |  |  | concordancia con valor conocido |  |  |  | A | B | C | All | A | B | C | ALL | Muestras totales | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | coincidencias | 50 | 49 | 49 | 48 | 50 | 49 | 49 | 48 | Falsos negativos |  |  |  |  | 0 | 0 | 0 |  | Falsos positivos |  |  |  |  | 0 | 0 | 0 |  | <b>efectividad</b> | <b>100.0%</b> | <b>98.0%</b> | <b>98.0%</b> | <b>96.0%</b> | <b>100.0%</b> | <b>98.0%</b> | <b>98.0%</b> | <b>96.0%</b> |
| COUNTS   |   |   |              |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|  |   | B   |              | C            |                                 | Known        |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|  |   | C   | N            | C            | N                               | C            | N            |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| A  | C   | 104   | 1            | 104          | 1                               | 105          | 0            |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|  | N   | 0   | 45           | 0            | 45                              | 0            | 45           |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| B  | C   |   |              | 103          | 1                               | 104          | 0            |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|  | N   |   |              | 1            | 45                              | 1            | 45           |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| C  | C   |   |              |              |                                 | 104          | 0            |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|  | N   |   |              |              |                                 | 1            | 45           |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Cohen's KAPPA  |   |   |              |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|  | A   | B   | C            | conocido     |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| A  | --  | 0.984   | 0.984        | 1.000        |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| B  | 0.984   | --  | 0.969        | 0.984        |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| C  | 0.984   | 0.969   | --           | 0.984        |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Conocido   | 1.000   | 0.984   | 0.984        | --           |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|  | efectividad   |   |              |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|  | concordancia entre repeticiones   |   |              |              | concordancia con valor conocido |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
|  | A   | B   | C            | All          | A                               | B            | C            | ALL          |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Muestras totales   | 50  | 50  | 50           | 50           | 50                              | 50           | 50           | 50           |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| coincidencias  | 50  | 49  | 49           | 48           | 50                              | 49           | 49           | 48           |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Falsos negativos   |   |   |              |              | 0                               | 0            | 0            |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Falsos positivos   |   |   |              |              | 0                               | 0            | 0            |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| <b>efectividad</b>   | <b>100.0%</b>   | <b>98.0%</b>  | <b>98.0%</b> | <b>96.0%</b> | <b>100.0%</b>                   | <b>98.0%</b> | <b>98.0%</b> | <b>96.0%</b> |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| <b>Resultados</b>  |   |   |              |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Cohen's Kappa    Effectiveness<br>≥ 0.75            ≥ 90%    Acceptable<br>0.40 - 0.75      80 - 90%    Marginalmente aceptable, dependiendo lo crítico del proceso.<br>< 0.40            < 80%      El sistema no es aceptable  |   | El sistema de inspección es aceptable? <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO   |              |              |                                 |              |              |              |  |  |  |  |   |  |   |  |       |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |     |   |     |   |     |   |   |   |    |   |    |   |    |   |   |  |  |     |   |     |   |   |  |  |   |    |   |    |   |   |  |  |  |  |     |   |   |  |  |  |  |   |    |               |  |  |  |  |  |   |   |   |          |   |    |       |       |       |   |       |    |       |       |   |       |       |    |       |          |       |       |       |    |  |             |  |  |  |  |  |  |  |                                 |  |  |  |                                 |  |  |  |   |   |   |     |   |   |   |     |                  |    |    |    |    |    |    |    |    |               |    |    |    |    |    |    |    |    |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                  |  |  |  |  |   |   |   |  |                    |               |              |              |              |               |              |              |              |

**Conclusión del estudio de concordancia por atributos GR&R al sistema propuesto**

Para el sistema de inspección actual de rebaba se tiene un índice de kappa de Cohen entre 0.02 y 0.1, lo que indica que no hay concordancia entre operador- operador y operador-valor conocido.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

La efectividad de cada operador varía entre el 32% y 38%, mientras que la eficiencia promedio entre operador-operador es del 10%, mientras que la efectividad de cada operador con el valor conocido varía entre 24% y 32%, teniendo al final una eficiencia promedio del 10%, lo que indica que de 50 muestras solo hubo 5 coincidencias entre los 3 operadores con el valor conocido.

De acuerdo con los resultados obtenidos el valor de índice de concordancia de kappa de Cohen y la efectividad del sistema de inspección actual no cumple con los valores de la Tabla 3, por lo que en términos generales este sistema no es aceptable ya que no es capaz de distinguir entre material *ok* y *no ok*, como se puede ver en la Tabla 20 el sistema rechaza material *ok* y acepta material *no ok*.

Analizando los resultados del sistema propuesto para la identificación de la rebaba se tiene un índice de kappa de Cohen entre 0.98 y 1, indicando que el sistema propuesto tiene una buena concordancia de acuerdo con lo indicado en la Tabla 3. Como se puede ver en la Tabla 22, la efectividad promedio del sistema propuesto es del 96%, esto indica que de 50 muestras hubo 48 coincidencias.

Se puede concluir que el sistema es capaz de poder distinguir entre material conforme y no conforme, por lo que se puede asegurar que el material rechazado es aquel que no cumple con las especificaciones y el material aceptado es el que está dentro de la especificación.

### ***Estudio de repetibilidad y reproducibilidad***

Una vez que el sistema propuesto es capaz de identificar el material no conforme de acuerdo con las especificaciones, se va a realizar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad con el método de promedios y rangos de acuerdo con la Figura 18, este estudio de acuerdo con el manual del Análisis del Sistema de Mediciones o MSA (Company, Raytheon, 2003), debe realizarse para ver la variación del sistema de



*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

medición. El rango de la característica a medir es de 1 mm a 5 mm, cada una de las muestras se mide 2 veces.

El estudio se realiza fuera de línea de igual manera que el estudio de concordancia por atributos GR&R y de igual manera la distancia del sensor al neumático se configura a 220 mm y con un ángulo de  $\theta = 90^\circ$ , esto aplicará para cada una de las mediciones.

A continuación, la Tabla 23 muestra los resultados del estudio realizado a 25 muestras representativas.

*Tabla 23. Tabla de rangos y promedios de las 25 muestras. Fuente: Elaboración Propia.*

| Part | Trial 1 | Trial 2 | Trial 3 | Trial 4 | Trial 5 | Avg.  | Range |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| 1    | 3.100   | 3.110   |         |         |         | 3.105 | 0.010 |
| 2    | 3.900   | 3.880   |         |         |         | 3.890 | 0.020 |
| 3    | 3.600   | 3.580   |         |         |         | 3.590 | 0.020 |
| 4    | 2.100   | 2.130   |         |         |         | 2.115 | 0.030 |
| 5    | 1.100   | 1.100   |         |         |         | 1.100 | 0.000 |
| 6    | 2.200   | 2.200   |         |         |         | 2.200 | 0.000 |
| 7    | 2.800   | 2.810   |         |         |         | 2.805 | 0.010 |
| 8    | 3.100   | 3.120   |         |         |         | 3.110 | 0.020 |
| 9    | 2.400   | 2.410   |         |         |         | 2.405 | 0.010 |
| 10   | 2.620   | 2.610   |         |         |         | 2.615 | 0.010 |
| 11   | 3.000   | 2.990   |         |         |         | 2.995 | 0.010 |
| 12   | 2.900   | 2.890   |         |         |         | 2.895 | 0.010 |
| 13   | 3.100   | 3.100   |         |         |         | 3.100 | 0.000 |
| 14   | 2.500   | 2.530   |         |         |         | 2.515 | 0.030 |
| 15   | 3.110   | 3.130   |         |         |         | 3.120 | 0.020 |

| Part | Trial 1 | Trial 2 | Trial 3 | Trial 4 | Trial 5 | Avg.  | Range |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| 16   | 2.900   | 2.890   |         |         |         | 2.895 | 0.010 |
| 17   | 2.500   | 2.510   |         |         |         | 2.505 | 0.010 |
| 18   | 1.700   | 1.710   |         |         |         | 1.705 | 0.010 |
| 19   | 2.500   | 2.510   |         |         |         | 2.505 | 0.010 |
| 20   | 2.600   | 2.620   |         |         |         | 2.610 | 0.020 |
| 21   | 2.200   | 2.190   |         |         |         | 2.195 | 0.010 |
| 22   | 1.200   | 1.200   |         |         |         | 1.200 | 0.000 |
| 23   | 2.200   | 2.200   |         |         |         | 2.200 | 0.000 |
| 24   | 2.700   | 2.690   |         |         |         | 2.695 | 0.010 |
| 25   | 3.200   | 3.210   |         |         |         | 3.205 | 0.010 |

$R_{\text{bar}}$ : 0.0116

Average (Parts): 2.611

Range (Parts): 2.790

En la gráfica de la Figura 56 se muestra que el promedio de los rangos de las mediciones se encuentra dentro del límite de control superior, una de las consideraciones es que ninguno de los rangos exceda el LCS (límite de control superior), con esto se puede deducir que no se debe repetir ninguna de las mediciones.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*

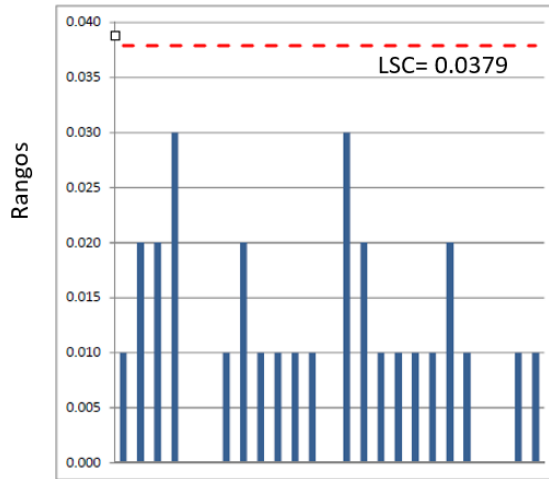


Figura 56: Rangos del promedio de las mediciones de las 25 muestras. Fuente: Elaboración propia.

La gráfica de la Figura 57 muestra los valores obtenidos en la primera y segunda medición, al igual que el promedio de estas.

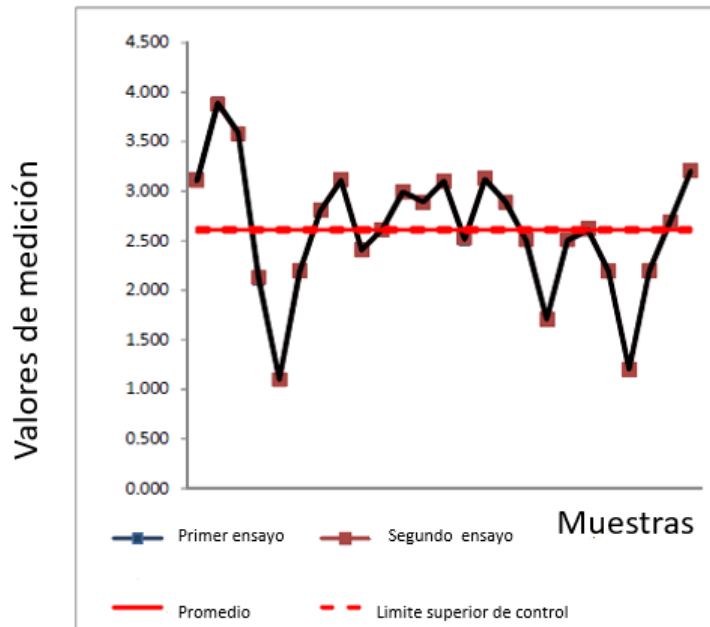


Figura 57: valores y promedios obtenidos en la primera y segunda medición. Fuente: Elaboración propia.

La repetibilidad o variación del equipo (EV), se determina multiplicando el promedio de rangos por una constante  $k_1$ , la cual es igual al inverso de  $d_2$  y este depende del número de intentos y el número de partes por el número de evaluadores.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

La Tabla 24, muestra las constantes para gráficos de control.

*Tabla 24. Tabla de constantes para gráficos de control. Fuente: Elaboración propia basada en el manual de Análisis del Sistema de Mediciones o MSA (Company, Raytheon, 2003)*

| Tabla de constantes para gráficos de control |                    |       |       |       |
|--|--------------------|-------|-------|-------|
| Grupos                                       | Promedios y Rangos |       |       |       |
|  | A2                 | d2    | D3    | D4    |
| 2  | 1.88               | 1.128 | -     | 3.267 |
| 3  | 1.023              | 1.693 | -     | 2.574 |
| 4  | 0.729              | 2.059 | -     | 2.282 |
| 5  | 0.577              | 2.326 | -     | 2.114 |
| 6  | 0.483              | 2.534 | -     | 2.004 |
| 7  | 0.419              | 2.704 | 0.076 | 1.924 |
| 8  | 0.373              | 2.847 | 0.136 | 1.864 |
| 9  | 0.337              | 2.97  | 0.184 | 1.816 |
| 10   | 0.308              | 3.078 | 0.223 | 1.777 |
| 15   | 0.223              | 3.472 | 0.347 | 1.653 |
| 25   | 0.153              | 3.931 | 0.459 | 1.541 |

El tamaño del subgrupo es de 2 para el estudio ya que cada muestra se va a medir 2 veces, por lo que el valor de d2, de 1.128 de acuerdo con la Tabla 24, este valor se calcula la constante k1.

$$k_1 = 1/d2 = 1/1.128 = 0.88$$

Repetibilidad (EV)

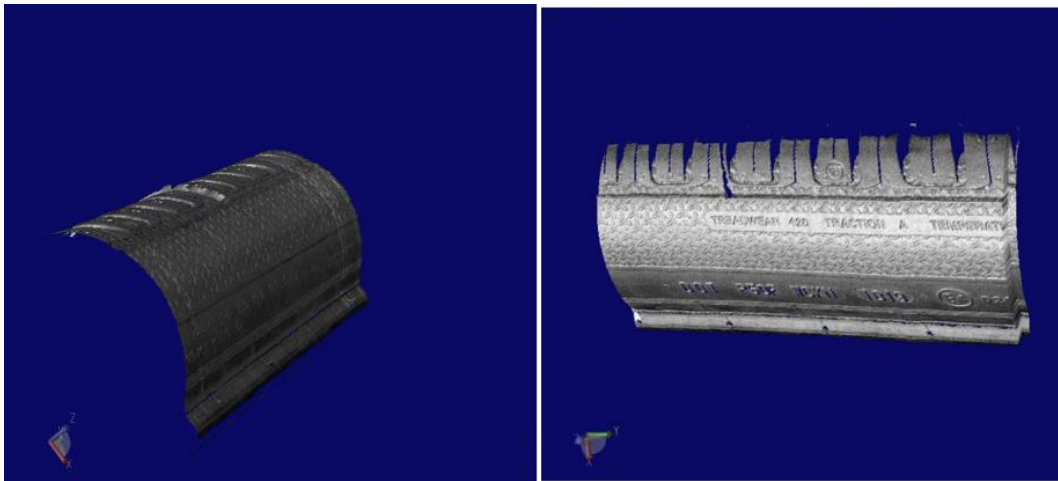
$$\% \text{ GR \& R} = \text{EV} = R' k_1 = 1.47\%$$

Comparando el resultado obtenido con la Tabla 4 que indica los criterios de aceptación, la variación del sistema de medición es aceptable ya que el valor obtenido es menor al 10%.

### **6.- Definición de prototipo final**

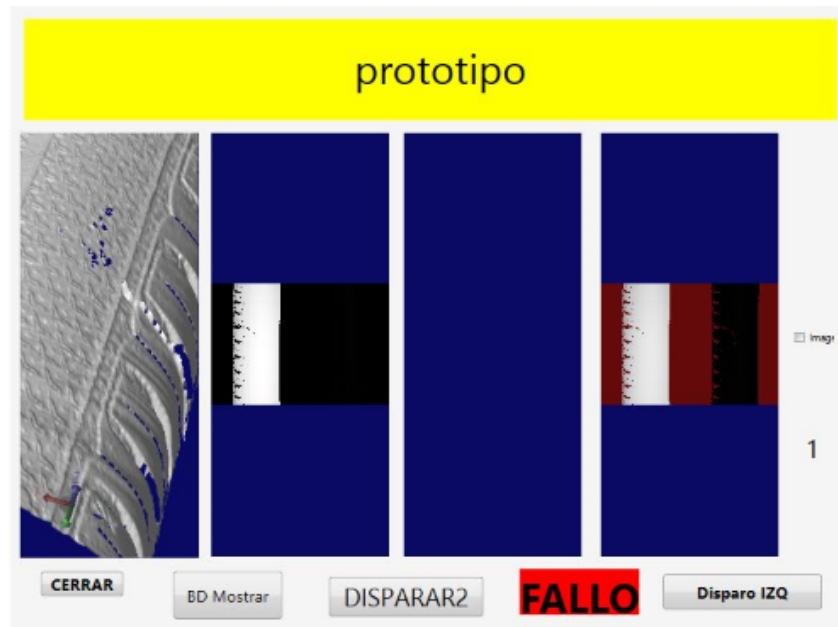
Teniendo en consideración se concluye que el prototipo final es el diseño previamente desarrollado mediante la metodología de (Ullman, 2010) Esto indica que el sistema no requiere de ninguna modificación para cumplir con el objetivo planteado en este trabajo.

Las Figura 58 y la Figura 59 muestran el resultado de la representación en 3D de las inspecciones realizadas por el sistema.



*Figura 58. Representación gráfica 3D obtenida del sistema de inspección de rebaba. Fuente: Elaboración propia.*

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la producción de neumáticos*



*Figura 59. Imagen 3D creada por la interfaz. Fuente: Elaboración propia.*

## **Conclusiones**

El presente trabajo hace mención de la problemática actual de los desperfectos estéticos del neumático, así como del método utilizado actualmente para la inspección y detección de estos. De acuerdo con lo planteado en este trabajo, el objetivo principal es analizar la posibilidad de reemplazar el método de inspección actual por un sistema automático el cual cumpla con los requerimientos de los departamentos involucrados en el proceso, tales como Calidad, Mantenimiento, etc.

Tomando como punto de partida la hipótesis planteada, el marco del desarrollo de este trabajo de investigación está basado en los conocimientos existentes que se tienen de la complejidad del mercado de la producción de neumáticos para la industria automotriz, los retos a los que se enfrentan en un mercado creciente y del método de inspección actualmente utilizado para la identificación de este desperfecto estético en los neumáticos conocido como rebaba.

El desarrollo del sistema de inspección está basado en la metodología propuesta catalogada de multietapas para el desarrollo de prototipos, la metodología en base a la adaptación de la metodología del modelo de espiral de (Ullman, 2010) de diseño la cual se divide en niveles, cada nivel teniendo un entregable dependiendo del nivel anterior, de esta manera nos indica de manera precisa los pasos a seguir para poder de esta manera desarrollar un sistema automático para sustituir al proceso de inspección actual.

La metodología consta de dos niveles compuesta de 6 fases, en la que cada una de ellas establece actividades de diseño para el sistema de inspección propuesto. El objetivo planteado en el primer nivel de la espiral de la metodología fue la creación de un prototipo virtual basado en un listado de especificaciones elaboradas por diferentes departamentos, teniendo este modelo se procedió a realizar simulaciones para ver el comportamiento del sistema con las diferentes características del producto, lo cual

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

conllevo a realizar diferentes modificaciones de esta manera mitigando riesgos en el proceso de construcción.

En el nivel 2 se llevó acabo la construcción y evaluación del sistema en base a los entregables establecidos en la segunda espiral. Durante la fase de validación se realizaron estudios estadísticos basados en los indicadores establecidos para ver la confiabilidad y variación del sistema de medición.

El primer estudio de concordancia por atributos GR&R contempla la comparación del sistema actual y el sistema propuesto de inspección, teniendo como referencia valores cuantitativos conocidos, para identificar los neumáticos conformes y no conformes, se determinó la siguiente clasificación de C para productos conformes y N para productos no conformes.

Analizando los resultados, el sistema actual nos arroja que la efectividad entre los operadores es del 10% y el valor de concordancia entre operadores es inferior a 0.1, estando muy por debajo de los valores aceptables, con los datos arrojados se puede concluir que la inspección visual no es la más adecuada para hacer esta operación, por lo que este sistema no es aceptable. No es recomendable seguir utilizando este sistema debido al gran riesgo de poder clasificar piezas buenas como malas y piezas malas.

Verificando los resultados del estudio realizado al sistema automático, se observa que el prototipo desarrollado dio como resultado un índice de concordancia mayor a 0.9 y una efectividad del 96%, esto indica que de 50 inspeccionas solo tuvo 2 discordancias, por lo que el sistema es captable ya que es capaz de identificar de manera correcta las rebabas en el costado del neumático.

Para poder evaluar la variación del sistema de medición propuesto se realiza un estudio GR&R para ver la repetibilidad y reproducibilidad del sistema automático de inspección, analizando los resultados se observa que se tiene una repetibilidad >10%, lo

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

que indica que el sistema de medición es aceptable ya que es capaz de medir rebabas de 1mm hasta 4mm.

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que el sistema desarrollado es capaz de distinguir entre material conforme y no conforme de manera confiable y eficaz por lo que se puede asegurar que el material que no cumple con las especificaciones es rechazado y el material que cumple con las especificaciones es el aceptado.

Uno de los aspectos importantes del trabajo desarrollado fue el uso correcto de las tecnologías disponibles para el objetivo deseado, esto se pudo llevar a cabo gracias al seguimiento de una metodología de diseño en la cual se fueron mitigando los riesgos en cada etapa.

El desarrollo de este trabajo dejó resultados de alto impacto ya que el sistema desarrollado para la detección de defectos estéticos como la rebaba no solo puede ser usado como medida de contención si no como medida de prevención, ya que el sistema es capaz de generar una trazabilidad de los procesos de cada neumático, como por ejemplo la prensa en la cual el neumático fue vulcanizado, esto con la finalidad de poder identificar la causa raíz del problema.



## ***Trabajo Futuro***

En este trabajo, los estudios realizados al sistema automático propuesto se llevaron a cabo en condiciones similares a las que actualmente se encuentran en la línea de producción. Una segunda fase de este trabajo es instalar el sistema propuesto en la línea de producción donde actualmente se hace la inspección manual. Para realizar esta tarea es importante considerar que el neumático debe girar 360° para poder hacer una inspección adecuada directamente en la línea de producción.

Para poder instalar este sistema se deben realizar adecuaciones en la línea de producción actual, estas modificaciones serán en el equipo actual, así como en el sistema de control. De igual manera se deben hacer adecuaciones de programación para lograr la interfaz de los dos sistemas.

Uno de los aspectos que pueden implementarse después de la instalación es el reemplazo del lector de código de barras de mano por uno automático ubicado antes del sistema automático, esto con la finalidad de poder de seguir teniendo la trazabilidad del producto mediante su código de barras.

## **Referencias**

- Ago, M., Martens, O., Saar, T., & Land, R. (n.d.). Adaptively undersampled image processing for fast multiline laser detection. *2013 IEEE 8th International Symposium on Intelligent Signal Processing, 2013*, pp. 60-64. Funchal. doi:10.1109/WISP.2013.6657483
- Akubue, A. (2000). Appropriate technology for socioeconomic development in Third-World countries. *The Journal of Technology Studies: An E-Journal, 26(1)*. Virginia: Virginia Tech. Retrieved from <https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JOTS/Winter-Spring-2000/akabue.html>
- ANAC. (2015-2016). *Anuario Automotriz 2015-2016*. Retrieved from Calameo: <https://en.calameo.com/read/0040977932c82adf2aa30>
- Blanco Romero, M. E. (2018, Junio). Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo. *Programa de Doctorado en Sostenibilidad*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Bowonder, B. (1979). Appropriate technology for developing countries: some issues. *Technological Forecasting and Social Change, 15(1)*, 55-67.
- Chan, L., & Wu, M. (2002). Quality function deployment: A literature review. *European journal of operational research, 143(3)*, 463-497.
- Chi-Wen Lung, Y.-C. C.-W. (2016). A Laser-Based Vision System for tire tread depth inspection. *International Symposium on Computer, Consumer and Control*. Taiwan: Department of the Optoelectronics and Communications.
- Cognex. (2020). PERFILADOR LÁSER IN-SIGHT. México. Retrieved from <https://www.cognex.com/es-mx/products/machine-vision/3d-laser-profilers/in-sight-laser-profiler>

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

- Company, Raytheon. (2003). Measurement Systems Analysis. *MSA for suppliers*. Retrieved from [https://www.raytheon.com/sites/default/files/connections/rtnwcm/groups/public/documents/content/rtn\\_connect\\_msa\\_pdf.pdf](https://www.raytheon.com/sites/default/files/connections/rtnwcm/groups/public/documents/content/rtn_connect_msa_pdf.pdf)
- Continental tires España S.L.U. (2020). *Continental*. Retrieved from <https://www.continental-neumaticos.es/turismo/conocimientos-sobre-neumaticos/fundamentos-de-neumaticos>
- Cross, N., & Roy, R. (1989). *Engineering Design Methods, Strategies for Product Design* (Vol. 4). New York: Wiley.
- Diego Segura, B., & Rupérez Calvo, M. J. (2002). *NTP 654: Láseres: nueva clasificación del riesgo (UNE EN 60825-1 /A2)*. Madrid, España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Domingo, M. (2002). *Visión Artificial*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Eduardo Cuesta, P. F. (n.d.). *Influencia del Acabado Superficial en Digitalizado con Sensores de Triangulación por Láser*. Gijón, Asturias, España: Universidad de Oviedo, Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación,.
- Enríquez, G. (2000). *El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales*. Editorial Limusa.
- Facas, V. (2013). Design, Modelation and Numerical Simulation of a Novel Artefact. *Arab J Sci Eng*(38), 1519-1528. doi:<https://doi.org/10.1007/s13369-013-0537-x>
- Ferrer Real, I. (2007). *Contribución metodológica en técnicas de diseñar para fabricación*. Universitat de Girona.
- Fisher, M. (2006). Income is development. Kickstart's pumps help Kenyan farmers transition to a cash economy. *Innovations journal*, 1(1), 9-30.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

- Frosio, I., Borghese, N., Tirelli, P., Venturino, G., & Rotondo, G. (2011, Mayo). Flexible and Low Cost Laser Scanner for Automatic. *International Instrumentation and Measurement Technology Conference*. Binjiang, China: IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers. doi:10.1109/IMTC.2011.5944190
- García Fuentes, J., Navalón Davó, A., Jordá Reolid, A., & Juárez Varón, D. (2014). Visión artificial aplicada al control de calidad. *3C Tecnología. Glosas De Innovación Aplicadas a La Pyme*, 3(12), 297-308. Retrieved from <https://ojs.3ciencias.com/index.php/3c-tecnologia/article/view/232>
- García Melón, M., Alcaide Marzal, J., Gómez Navarro, T., Collado-Ruiz, D., Peris Blanes, J., Monterde Díaz, R., . . . Gómez Senent-Martínez, E. (2009). *Fundamentos del diseño en la ingeniería*. Universitat Politècnica de València.
- González González, C., & Zeleny Vázquez, J. R. (1998). Metrología. Retrieved from LinkedIn: <https://es.slideshare.net/rockbles/gonzalez-carlos-metrologia-57763615>
- González, J. M. (n.d.). Tecnología de visión 2D y 3D aplicada a la inspección. *Tecnología de visión 2D y 3D aplicada a la inspección*. Valencia, Spain: Instituto de Automática Informatica Industrial.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna* (3era ed.). México, DF: Mc Graw Hill.
- Grover, P. D., Mishra, S. K., & Clancy, J. S. (1994). Development of an appropriate biomass briquetting technology suitable for production and use in developing countries. *Energy for Sustainable Development*, 1(1), 45-48. doi:org/10.1016/S0973-0826(08)60015-0
- Hattori, T., & Hidaka, Y. (1986). An automatic visual inspection method of pattern using a circular feature extraction filter. *ICASSP '86. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1453-1956.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

- Hernández Cedillo, V. (2014, octubre 21). *Empresas llanteras ponen a rodar a México*. Retrieved from Mundo Ejecutivo: <http://mundoejecutivo.com.mx/economia-negocios/2014/10/21/empresas-llanteras-ponen-rodar-mexico/>
- Infaimon. (2020). ¿Qué es la visión artificial y cómo puede mejorar tu aplicación? Retrieved from <https://www.infaimon.com/publicaciones-y-catalogo/>
- Jänsch, J., & Birkhofer, H. (2006). THE DEVELOPMENT OF THE GUIDELINE VDI 2221 - THE CHANGE OF DIRECTION. *INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE - DESIGN 2006*. Dubrovnik.
- Jian-Hai, H., Shu-Shang, Z., & Wei, S. (2007). Research on subpixel detecting on-line system based on machine vision for inner diameter of bearings. *2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, (pp. 2049-2052). Sanya.
- Junfeng Li, Y. H. (2015, August 02). Automatic Inspection of Tire Geometry with Machine Vision. Beijing, China: International Conference on Mechatronics and Automation.
- Keyence. (2017). *Keyence*. Retrieved from [keyence.com.mx: http://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/](http://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/)
- Leon-Duarte, J. (2006, October). *Metodología para la detección de requerimientos subjetivos en el diseño de producto*. Retrieved from Research Gate: [https://www.researchgate.net/publication/277170712\\_Metodologia\\_para\\_la\\_deteccion\\_de\\_requerimientos\\_subjetivos\\_en\\_el\\_diseno\\_de\\_producto](https://www.researchgate.net/publication/277170712_Metodologia_para_la_deteccion_de_requerimientos_subjetivos_en_el_diseno_de_producto)
- Madrigal González, C. A. (2017). *Método para el reconocimiento de defectos superficiales en objetos a pequeña escala mediante la detección de características invariantes 3-D*. (D. d. Facultad de Minas, Ed.) Medellín, Colombia, Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

- Molder, A., Martens, O., Saar, T., & Land, R. (2015). Laser Scanner Calibration Dependency On the Line Detection Method. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 21(6), 66-69.  
doi:<https://doi.org/10.5755/j01.eee.21.6.13765>
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems man and cybernetics*, 9(1), 62-66.
- Pahl, G., & Beitz, W. (2013). *Engineering design: a systematic approach* (3 ed.). Springer Science & Business Media.
- Pugh, S. (1990). Total design. Integrates methods for successful product engineering. Wokingham: Addison Wesley.
- RAE. (2019). *Diccionario de la Lengua Española*. Retrieved from Real Academia Española: <https://dle.rae.es/?id=VIHR3s>
- Ramírez Medina, S. (2013). La industria de autopartes. *Revista Comercio Exterior*, 63(3), 2-6.  
Retrieved from <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/154/2/autopartes.pdf>
- Riba Romeva, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona, España, Barcelona, España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- Roozenburg, N., & Eekels, J. (1995). *Product design: fundamentals and methods*. John Wiley & Sons.
- Salgado, D. L. (2007, Mayo). *Visión Artificial: Fundamentos y Aplicaciones*. Madrid, Spain.
- Sapuan, S. (2005). A conceptual design of the concurrent engineering design system for polymeric-based composite automotive pedals. *American Journal of Applied Sciences*(2), 514-525.
- Schey, J. (2002). *Procesos de Manufactura* (3ra ed.). Mexico: Mc Graw Hill.

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

- Segura, R. (2015, Octubre 1). *Industria hulera y llantera, poniendo sobre ruedas el país*. Retrieved from Transportes y turismo: <https://tyt.com.mx/reportajes/mexico-sobre-ruedas-la-importancia-de-la-industria-hulera-y-llantera/>
- Shunwang, X., Zhiyong, A., Hui, S., Wubin, F., Lijuan, L., & Shengcai, L. (2010). Laser Line-Scanning Based Customized Shoe-Last System. *2010 International Conference on Electrical and Control Engineering*, (pp. 1230-1233). Wuhan.  
doi:10.1109/iCECE.2010.307
- Sinlapecheewa, C., & Takamasu, K. (2005). 3D profile measurement using color multi-line stripe pattern with one shot scanning. *I2(4)*, 333-341.
- Sukprasertchai, S., & Suesut, T. (2016). Laser Scanner Calibration Dependency on the Line Detection Method. Hong-Kong: Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists.
- Takuma Funahashi, K. T. (n.d.). Fast and robust visual inspection system for tire surface thin defect. Nagoya, Japan: School of Engineering Chukyo University.
- Teitel, S. (1978). On the concept of appropriate technology for less industrialized countries. *Technological Forecasting and Social Change*, *11*, 349-369. doi:10.1016/0040-1625(78)90018-5.
- The Yokohama Rubber Co. LTD. (2013, Noviembre 20). *Voluntary recall notification of RY215 in U.S.A*. Retrieved from Yokohama: [https://www.yrc.co.jp/english/ir/131121\\_01.html](https://www.yrc.co.jp/english/ir/131121_01.html)
- Ullman, G. D. (2010). *The mechanical design process* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Ulrich, K., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. New York: McGraw-Hill.
- Universidad Nacional de Quilmes. (2005, Agosto). Iluminación para las aplicaciones de Visión Artificial. Quilmes, Argentina. Retrieved from

*Diseño de un sistema de inspección para la detección automática de rebaba en la  
producción de neumáticos*

<http://iaci.unq.edu.ar/materias/vision/archivos/apuntes/Tipos%20de%20Iluminaci%C3%B3n.pdf>

Zhenzhong, W., Guangjun, Z., & Xin, L. (2001). The application of machine vision in inspecting position-control accuracy of motor control systems. *ICEMS'2001. Proceedings of the Fifth International Conference on Electrical Machines and Systems (IEEE Cat. No.01EX501)*. 2, pp. 787-790. Shenyang, China: IEEE.