

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales
Maestría en Ingeniería y Gestión de la Calidad



REDUCCIÓN DE DESPERDICIO DEL ÁREA DE ENSAMBLE FINAL EN HEAD UP DISPLAYS

TESIS que para obtener el **GRADO** de
MAESTRO EN INGENIERÍA Y GESTIÓN DE LA CALIDAD

Presenta: **EDUARDO ROMERO BARBA**
Tutor **GUILLERMO VILLARRUEL ULLOA**

Tlaquepaque, Jalisco. 16 de mayo de 2025.

Agradecimientos

A mis padres, hermanos, hermanas y sobrinos por inspirarme y motivarme a esforzarme cada día para lograr mis metas.

A mi tutor Guillermo Villarruel por su disposición de apoyar y por guiarme en la ejecución de este trabajo de obtención de grado.

A mis maestros y compañeros de esta maestría por compartir sus conocimientos y experiencias.

A los ingenieros e ingenieras de la empresa involucrados por su tiempo y compromiso en la ejecución de este proyecto.

Contenido

Maestría en Ingeniería y Gestión de la Calidad.....	1
1. Fundamentación del trabajo.....	9
1.1..Descripción del escenario que se planea intervenir y su contexto	9
1.2..Descripción de la problemática percibida que justifica la intervención.....	10
1.3..Validación de las condiciones del escenario.....	11
1.4..Análisis del entorno de la organización	12
1.5..Diagnóstico preliminar: primera hipótesis.	12
1.5.1. Diagrama de Pareto	14
1.5.2. Diagrama CTQ	16
1.5.3. SIPOC.....	18
1.5.4. Mapeo de la cadena de Valor	20
1.5.5. Diagrama de Flujo	22
1.6..Objetivos de la intervención	26
1.7..Delimitaciones y área funcional por intervenir	29
1.8..Relevancia y pertinencia del trabajo	29
2. Marco conceptual de referencia	30
2.1..Estado de la cuestión	30
2.2..Conceptos y enfoques teóricos relacionados	32
3. Marco metodológico de referencia.....	35
3.1..Definición preliminar de la metodología, selección de las herramientas requeridas y el cronograma.	37
3.2..Análisis de referencia	38
3.3..Metas de información.....	42
3.4..Identificación, descripción y cuantificación de métricas iniciales.....	44
3.4.1. Análisis del Sistema de Medición (MSA)	44
3.5..Descripción del análisis: correlación e interpretación de la información obtenida.	62
3.5.1. Análisis de regresión Fuerza y tiempo de prensado	62
3.5.2. Análisis de regresión de variables de cámara de inspección.....	67
3.6..Definición de los factores prioritarios a intervenir y/o modificar en la problemática.	72
3.6.1. Diagrama de Ishikawa o Causa-Efecto.....	72

4.	Estrategia de intervención.....	74
4.1..	Justificación de la estrategia de intervención	74
4.1.1.	Consideraciones costo/beneficio de la estrategia.....	74
4.2..	Herramientas e instrumentos.....	75
4.3..	Etapas del proceso de aplicación/intervención.....	75
4.3.1.	Cronograma de trabajo.....	76
4.3.2.	AMEF	78
4.3.3.	Pruebas piloto	82
4.3.4.	Imprevistos.....	87
5.	Exposición de hallazgos	88
5.1..	Sistematización y aplicación de escalas de medición de resultados.....	88
5.1.1.	Poka Yoke.....	89
5.2..	Organización de la información obtenida.....	91
5.3..	Impacto de la estrategia en la organización	96
6.	Discusión final	97
6.1..	Consecuencias de la aplicación de la estrategia	97
6.2..	Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes	97
6.3..	Relevancia y trascendencia disciplinaria del caso	98
7.	Bibliografía.....	100
8.	Glosario.....	103

Índice de siglas

TOG: Trabajo de Obtención de Grado

IDI: Investigación, Desarrollo e Innovación

DEAM: Departamento de Economía, Administración y Mercadología

ITESO: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.

Índice de tablas

Tabla 1.Estructura Organizacional. Creación propia	9
Tabla 2.Herramientas fase de medición. Creación propia	37
Tabla 3.Matrix X-Y de defectos en el pegado de la cinta a la cubierta. Creación Propia	38
Tabla 4. Matrix X-Y de defectos en el pegado de la mica a la cubierta Creación propia	40
Tabla 5.Nueva matriz X-Y de defectos en el pegado de la cinta a la cubierta. Creación Propia ..	42
Tabla 5. Criterios de aceptación de la variación porcentual del estudio (%VE) y número de categorías distintas. Creación propia	45
Tabla 6. Criterios de aceptación Ppk. Creación propia.	56
Tabla 7. Ppk, Nivel sigma, ppms. Creación propia.....	56
Tabla 8.Requerimientos mínimos de piezas de acuerdo con la AIAG. Creación propia.....	57
Tabla 10.Herramientas fase de Análisis. Creación propia	62
Tabla 11.Herramientas de fase de mejora. Creación propia	75
Tabla 12.Priorización de implementación de acciones correctivas. Creación propia	76
Tabla 13.Cronograma de actividades. Creación propia.....	77
Tabla 14.AMEF Proceso de pegado de cintas. Creación propia	81

Índice de gráficos

Gráfica 1. Desperdicio sobre ventas en 6 meses. Creación propia	13
Gráfica 2. Pareto de primer nivel Desperdicio por área de ensamble. Creación propia.....	15
Gráfica 3.Desperdicio por proceso en el área de Ensamble final. Creación Propia	16
Gráfica 4.Desperdicio por modo de falla en el proceso de pegado de cintas. Creación Propia ..	27
Gráfica 5.Desperdicio sobre ventas después de las mejoras. Creación Propia.....	96

Índice de figuras

Figura 1.Principales clientes de la unidad de negocio UE. Creación propia	11
Figura 2. Valores de Empresa del ramo automotriz. Creación propia	12
Figura 3. CTQ Head up Display. Creación propia	17

Figura 4. SIPOC Head Up Display. Creación propia.....	19
Figura 5. Mapa de la cadena de valor situación actual. Creación propia.....	21
Figura 6. Diagrama de Flujo. Creación Propia.....	24
Figura 7. Project Charter del Proyecto en intervención .Creación propia.....	28
Figura 8. Empresas líderes de producción de HUDs. Creación propia	31
Figura 9. DMAIC. Creación Propia.....	35
Figura 10. Gage R&R Posición 1. Creación Propia	46
Figura 11. Gage R&R Posición 2. Creación Propia	48
Figura 12. Gage R&R Posición 3. Creación Propia	50
Figura 13. Gage R&R Posición 4. Creación Propia	52
Figura 14. Imágenes de referencia unidades dentro de especificación. Creación Propia	53
Figura 15. Imágenes de referencia unidades fuera de especificación. Creación Propia.....	54
Figura 16. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 1. Creación Propia	58
Figura 17. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 2. Creación Propia	58
Figura 18. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 3. Creación Propia	59
Figura 19. Análisis de Capacidad de cinta Posición 4. Creación Propia	59
Figura 20. Análisis de Capacidad de Mica Posición 1. Creación Propia.....	60
Figura 21. Análisis de Capacidad de Mica Posición 2. Creación Propia.....	60
Figura 22. Análisis de Capacidad de Mica Posición 3. Creación Propia.....	61
Figura 23. Análisis de Capacidad de Mica Posición 4. Creación Propia.....	61
Figura 24. Análisis de Regresión de Cinta Posición 1. Creación Propia	63
Figura 25. Análisis de Regresión de Cinta Posición 2. Creación Propia	63
Figura 26. Análisis de Regresión de Cinta Posición 3. Creación Propia	64
Figura 27. Análisis de Regresión de Cinta Posición 4. Creación Propia	64
Figura 28. Análisis de Regresión de Mica Posición 1. Creación Propia.....	65
Figura 29. Análisis de Regresión de Mica Posición 2. Creación Propia.....	65
Figura 30. Análisis de Regresión de Mica Posición 3. Creación Propia.....	66
Figura 31. Análisis de Regresión de Mica Posición 4. Creación Propia.....	66
Figura 32. Análisis de Regresión variables de cámara Cinta Posición 1. Creación Propia.....	68
Figura 33. Análisis de Regresión de cámara Cinta Posición 2. Creación Propia	68
Figura 34. Análisis de Regresión de cámara Cinta Posición 3. Creación Propia	69
Figura 35. Análisis de Regresión de cámara Cinta Posición 4. Creación Propia	69
Figura 36. Análisis de Regresión de cámara Mica Posición 1. Creación Propia.....	70
Figura 37. Análisis de Regresión de cámara Mica Posición 2. Creación Propia.....	70
Figura 38. Análisis de Regresión de cámara Mica Posición 3. Creación Propia.....	71
Figura 39. Análisis de Regresión de cámara Mica Posición 4. Creación Propia.....	71
Figura 40. Diagrama de Ishikawa Cinta desplazada. Creación Propia	73
Figura 41. Diagrama de Gantt acciones correctivas. Creación Propia.....	78
Figura 42. Prueba de hipótesis variables de cámara Cinta Posición 1. Creación Propia.....	83
Figura 43. Prueba de hipótesis variables de cámara Cinta Posición 2. Creación Propia.....	83
Figura 44. Prueba de hipótesis variables de cámara Cinta Posición 3. Creación Propia.....	84

Figura 45. Prueba de hipótesis variables de cámara Cinta Posición 4. Creación Propia	84
Figura 46. Prueba de hipótesis variables de cámara Mica Posición 1. Creación Propia	85
Figura 47. Prueba de hipótesis variables de cámara Mica Posición 2. Creación Propia	85
Figura 48. Prueba de hipótesis variables de cámara Mica Posición 3. Creación Propia	86
Figura 49. Prueba de hipótesis variables de cámara Mica Posición 4. Creación Propia	86
Figura 50. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 1. Creación Propia	92
Figura 51. Análisis de Capacidad de cinta Posición 2. Creación Propia	92
Figura 52. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 3. Creación Propia	93
Figura 53. Análisis de Capacidad de cinta Posición 4. Creación Propia	93
Figura 54. Análisis de Capacidad de Mica Posición 1. Creación Propia	94
Figura 55. Análisis de Capacidad de Mica Posición 2. Creación Propia	94
Figura 56. Análisis de Capacidad de Mica Posición 3. Creación Propia	95
Figura 57. Análisis de Capacidad de Mica Posición 4. Creación Propia	95

Abstract

La digitalización de la industria automotriz ha tenido un crecimiento importante a nivel mundial en las últimas décadas por lo que la innovación, la reducción del tiempo y costos de industrialización de los productos y procesos se vuelven fundamentales para ser competitivos en el mercado.

En este documento de Trabajo de Obtención de Grado (TOG) se documenta el proyecto de reducción del indicador de desperdicio sobre ventas para los modos de fallas y micas desplazadas del área de ensamble Final del producto Head up Display de una empresa del ramo automotriz que parte de una línea base de 3.05% contra una meta establecida del 2%.

Este trabajo implementa una estrategia de mejora continua llamada Seis sigma que se enfoca en las necesidades del cliente para mejorar el desempeño de los procesos y reducir la variación, mediante la aplicación de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar).

Como resultado de la implementación de la metodología DMAIC se logra la reducción del indicador de desperdicio sobre ventas a 1.02% valor dentro de la meta establecida del 2%. Además, se logra la mejora del índice de capacidad del proceso a largo plazo (Ppk) con valores mayores a 1.33 y un nivel sigma mayor a 4, valor mínimo aceptado por la industria automotriz para la producción en serie. Las principales conclusiones de este trabajo muestran que la implementación del DMAIC es un compromiso con la excelencia que impulsa la mejora continua y excelencia operativa en las organizaciones.

Palabras clave: Head Up Display, Desperdicio, Mejora Continua, DMAIC, Proceso, Variación

TÍTULO DEL TOG

1. Fundamentación del trabajo

1.1. Descripción del escenario que se planea intervenir y su contexto

La empresa del ramo automotriz con más de 150 años de experiencia en el mercado, desarrolla tecnologías y servicios pioneros para la movilidad sostenible y conectada de personas y sus bienes, además de ofrecer soluciones seguras, eficientes, inteligentes y accesibles para vehículos, maquinas, tráfico y transporte. Actualmente emplea alrededor de 200 000 personas distribuidas en 527 localidades y 56 países. Está dividida en 3 sectores y 16 unidades de negocio como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Estructura Organizacional. Creación propia

Sector	AUTO	T1R	TECH
Unidad de Negocio	MS	OEM	ISE
	MA	RE	ISA
	UE	RT	IS2
	SM	RA	SFS
	NA	TS	OES

Los productos que ofrece cada sector son los siguientes:

- **AUTO.** Soluciones innovadoras para conducción automatizada y asistida, tecnologías de visualización y operación, así como soluciones de audio y cámara.
- **T1R.** Soluciones innovadoras en tecnología de neumáticos para automóviles, camiones, vehículos de dos llantas y neumáticos especiales.
- **TECH.** Soluciones inteligentes y sostenibles en materiales. Desarrolla y fabrica productos para la industria automotriz, ferroviaria, minera y agrícola.

1.2. Descripción de la problemática percibida que justifica la intervención

La digitalización de la industria automotriz ha tenido un crecimiento importante a nivel mundial en las últimas décadas. Es por ello que la innovación de nuevas tecnologías, la reducción del tiempo y costos de industrialización de los productos se vuelven fundamentales para ser competitivos en el mercado.

En el área de negocios UE se implementaron nuevas líneas de ensamble y nuevos procesos de producción de una tecnología de visualización llamada Head Up Display.

Uno de los indicadores claves de desempeño más importantes de la producción en serie del Head Up Display es el del porcentaje del desperdicio o costo de no conformidad contra las ventas que se genera principalmente por los siguientes factores:

- Retrabajos.
- Inspecciones adicionales.
- Fallas o defectos causados por el operador.
- Fallas o defectos causados por los equipos de ensamble o de pruebas.
- Material caduco.
- Material con defecto de proveedor.

Actualmente el porcentaje del desperdicio o costo de no conformidad contra las ventas en la tecnología de Head Up Display está fuera de meta y se requiere una mejora.

1.3. Validación de las condiciones del escenario

La empresa del ramo automotriz está localizada en la zona metropolitana. Inició operaciones en el año de 2002 y emplea alrededor de 2 500 personas; es parte del sector de AUTO y cuenta con dos unidades de negocio:

- UE.
- SM.

Los principales productos que se manufacturan son:

- Instrumentos análogos.
- Instrumentos digitales.
- Módulos de aire acondicionado.
- Display.
- Head Up Display.

En la figura 1 se muestran los logotipos de los principales OEM o clientes de la unidad de negocio UE son: Stellantis, Ford, Toyota, Nissan, Volkswagen, General Motors y Daimler.

Figura 1. Principales clientes de la unidad de negocio UE. Creación propia



1.4. Análisis del entorno de la organización

La empresa del ramo automotriz tiene un plan estratégico de calidad enfocado en la reducción de incidentes y costos variables de la manufactura para ser competitivos en el mercado automotriz y así cumplir la misión de innovar experiencias que conecten los usuarios.

La empresa está convencida de que los valores generan valor. Por lo que todos los empleados comparten cuatro valores corporativos fundamentales, estos principios forman las raíces de la cultura corporativa: confianza, pasión por ganar, libertad para actuar y trabajo en equipo como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Valores de Empresa del ramo automotriz. Creación propia



Solo en un entorno moldeado por esos valores se pueden crear servicios y soluciones para el mercado automotriz.

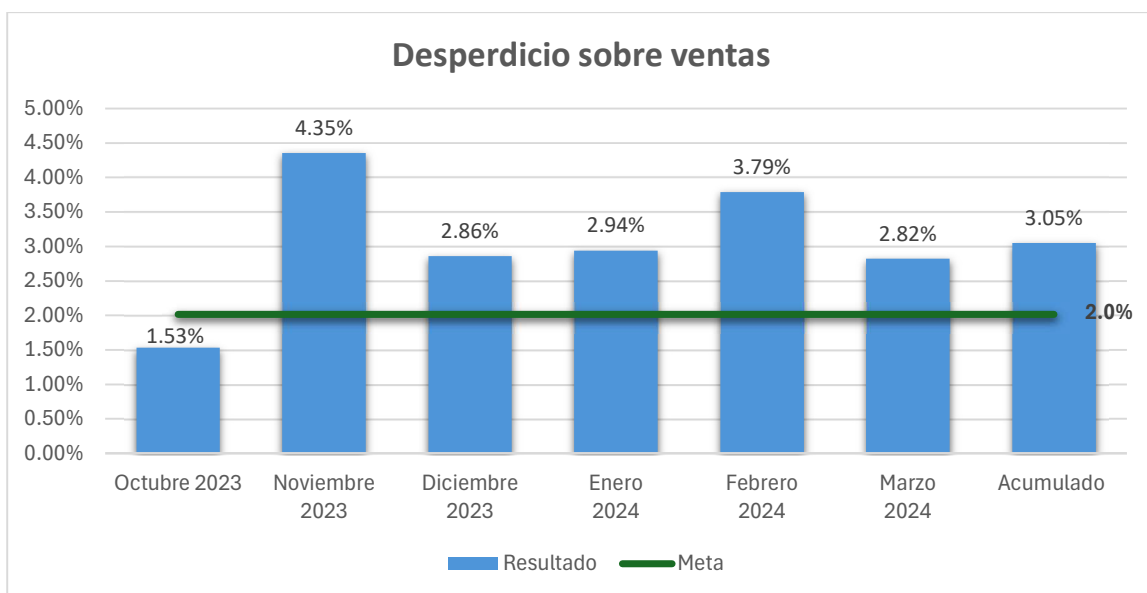
1.5. Diagnóstico preliminar: primera hipótesis.

Debido a los avances tecnológicos en la industria automotriz y con el objetivo de mejorar y hacer más segura la movilidad de los usuarios, la interfaz usuario-dispositivo se está haciendo cada vez más amigable por medio de dispositivos digitales, como es el caso de los Head Up Display cuya función es desplegar una imagen al conductor con información relevante como la velocidad, nivel de gasolina del vehículo y la ruta a seguir de manera que el usuario mantenga su vista y atención siempre al frente del vehículo evitando distracciones al momento de conducir.

Al ser una nueva tecnología en el mercado el proceso de manufactura de los Head Up Display es complejo debido a la interacción de componentes mecánicos, electrónicos y ópticos durante la proyección de la imagen, por lo que las pruebas funcionales y los controles de calidad son fundamentales para asegurar la calidad del producto. Los principales componentes mecánicos una vez ensamblados por medio de procesos de atornillado o pegado no se pueden reutilizar, por lo tanto es vital asegurar que las unidades sean procesadas como buenas en el primer intento y alcanzar un FPY de 99.3% para que el monto de desperdicio o costo de no conformidad se mantenga dentro de los valores aceptables definidos por la compañía.

Para conocer la situación actual del proyecto, se tomaron datos de desperdicio sobre ventas en un periodo de 6 meses que abarca de octubre 2023 a marzo 2024 como se muestra en la Gráfica 1.

Gráfica 1. Desperdicio sobre ventas en 6 meses. Creación propia



Como resultado se pudo observar que el porcentaje acumulado de desperdicio sobre ventas en los últimos 6 meses es de 3.05%, valor fuera de meta, ya que la meta establecida por la compañía para este KPI es de 2 %.

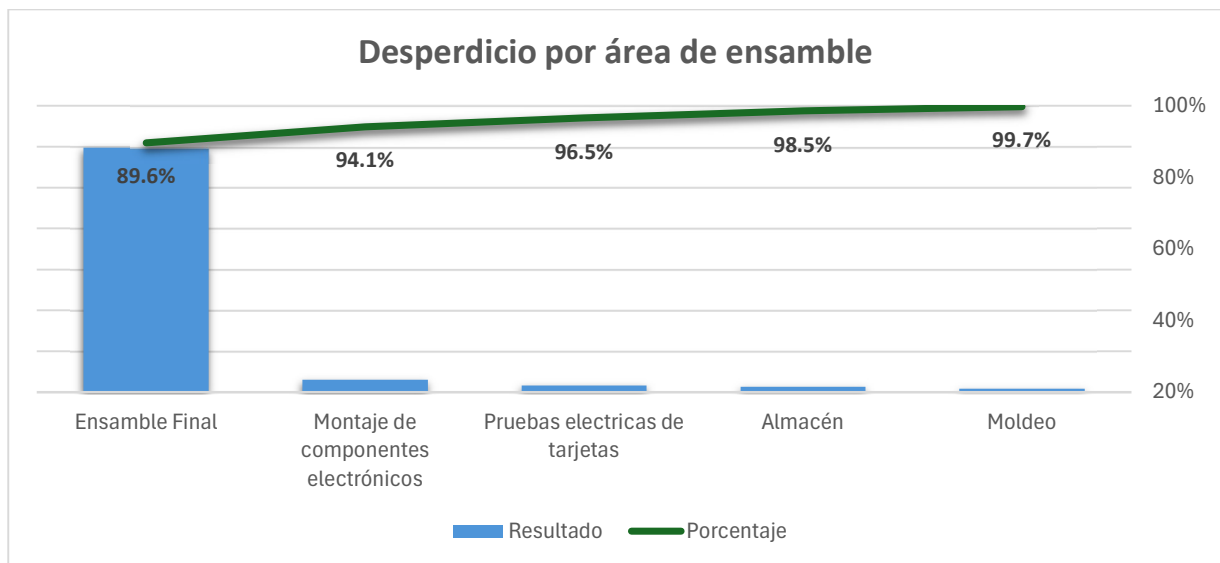
1.5.1. Diagrama de Pareto

Cada uno de los problemas que generan el desperdicio puede deberse a varias causas diferentes. Por eso es fundamental seleccionar el problema más importante y al mismo tiempo centrarse en atacar su causa más relevante. Para identificar el problema principal y ayudar a localizar la causa más importante del desperdicio sobre ventas en el proyecto de Head Up Display se utilizó la herramienta de calidad llamada Diagrama o Análisis de Pareto.

El principio de Pareto conocido como “Ley 80-20” o pocos vitales muchos triviales, nos dice que unos pocos elementos (20%), generan la mayor parte del efecto (80%); el resto de los elementos generan muy poco del efecto total.

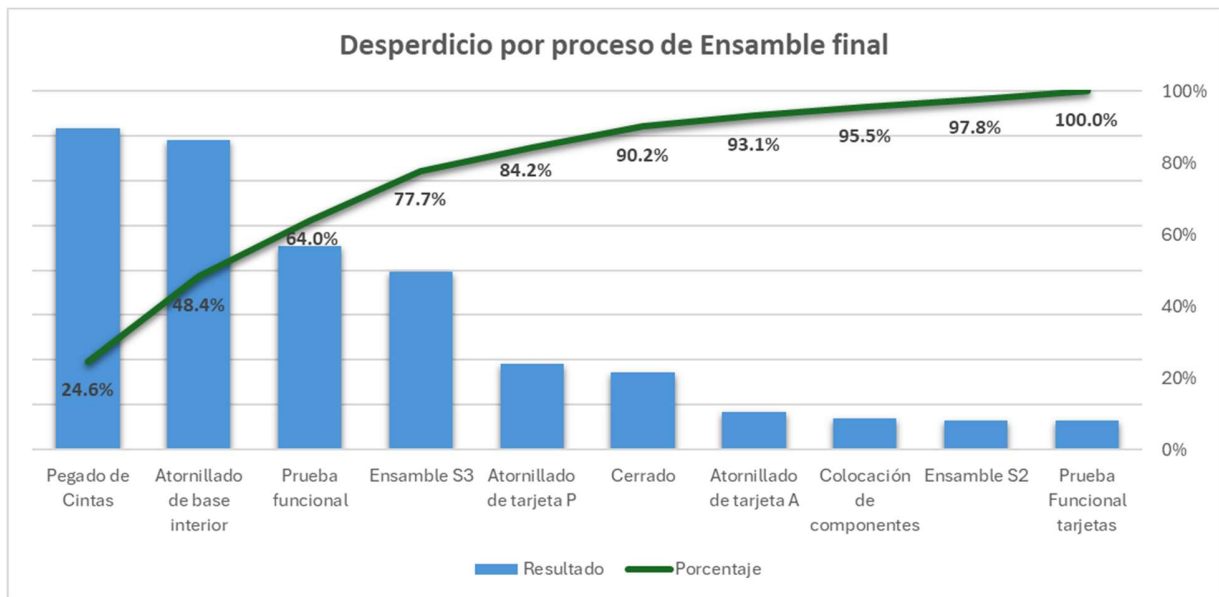
Con el objetivo de identificar cuál o cuáles fueron las áreas de ensamble que generaron el mayor monto de desperdicio sobre ventas en el proyecto se hizo un Pareto de primer nivel como se muestra en la Gráfica 2.

Gráfica 2. Pareto de primer nivel Desperdicio por área de ensamble. Creación propia



Como resultado del Pareto de primer nivel se identificó que el área de ensamble final genera el 89.6 % del monto de desperdicio total del proyecto. Siguiendo el principio de Pareto se seleccionó el área de ensamble final como ofensora y se generó un Pareto de segundo nivel (Gráfica 3) para conocer cuáles son los procesos que generan la mayor cantidad de desperdicio en esta área.

Gráfica 3. Desperdicio por proceso en el área de Ensamble final. Creación Propia



Como resultado del Pareto de segundo nivel se identificó que los siguientes procesos generan el 80% de la cantidad de desperdicio sobre ventas:

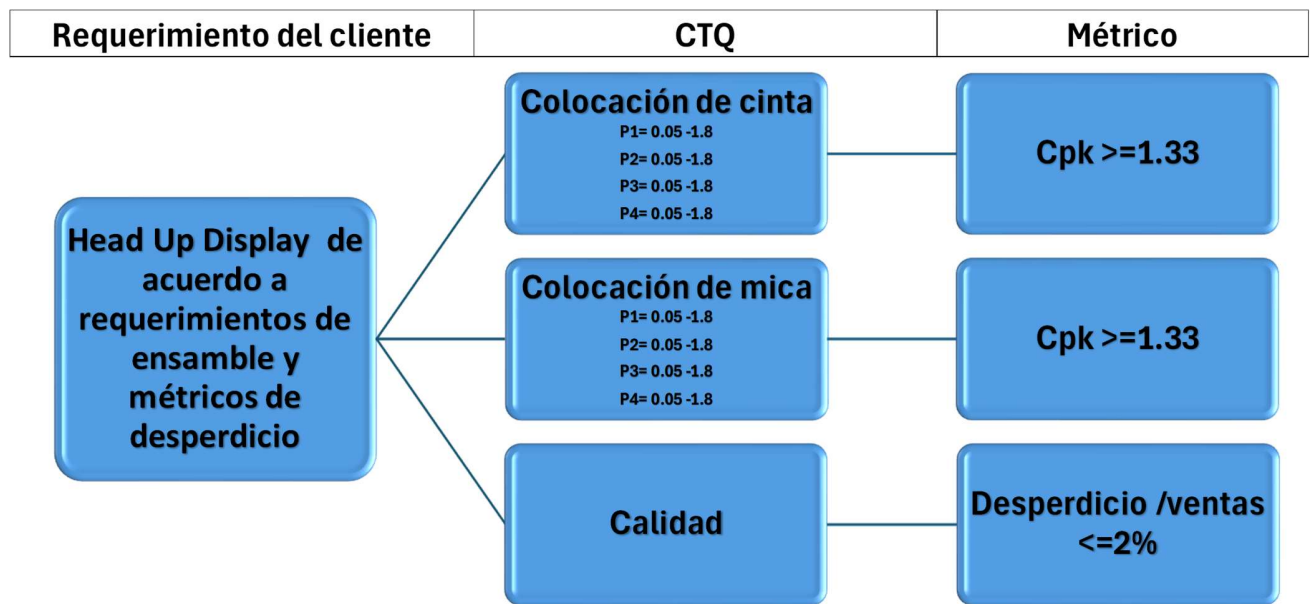
1. Pegado de Cintas.
2. Atornillado de base interior.
3. Prueba funcional.
4. Ensamble S3.
5. Atornillado de tarjeta P.

1.5.2. Diagrama CTQ

La empresa del ramo automotriz tiene la responsabilidad con todos sus clientes de manufacturar y entregar Head up Display que cumplan los requerimientos que vienen directamente de la voz del cliente de manera que se asegure la función y forma para que sea un producto confiable una vez que se instale e interactúe con todo el sistema eléctrico del vehículo. Por esta razón se

ejecutó un Diagrama CTQ para identificar los elementos críticos del producto y del proceso, así como definir las métricas y sus especificaciones con el objetivo de que se cumplan las métricas internas, requerimientos y expectativas del cliente.

Figura 3. CTQ Head up Display. Creación propia



En la Figura 3 se describen los elementos clave para satisfacer las necesidades del cliente que son parte de función y forma del Head Up Display:

- Colocación de cintas.
- Colocación de mica.
- Calidad del producto.

Los resultados del proceso de colocación de cintas y mica se monitorean en las métricas de desperdicio y FPY, por lo tanto, es fundamental mantener un porcentaje de desperdicio sobre ventas menor al 2% y un FPY del producto mayor al 99.3%.

1.5.3. SIPOC

SIPOC es una herramienta que se utiliza desde la década de 1980 en el marco de trabajo de la Gestión de la Calidad Total. Es útil para mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos, ya que al identificar los elementos clave proporcionan una visión clara y detallada de cómo se realiza un proceso.

La herramienta toma su nombre del acrónimo de la cadena de caracterización en inglés:

Suppliers – Inputs – Process – Output – Customers. Ayuda a conocer a nuestro cliente para transferir adecuadamente sus peticiones en el producto desde el inicio hasta el fin del proceso.

Con el objetivo de identificar los elementos clave en el proceso de ensamble del Head up Display en el área de ensamble final, se hizo un diagrama SIPOC que se muestra en la figura 4.

Figura 4. SIPOC Head Up Display. Creación propia

S SUPPLIER	I INPUT	P PROCESS	O OUTPUT	C CUSTOMER
¿Quién provee las entradas del proceso?	¿Qué entradas son requeridas?	¿Cuáles son los pasos mas relevantes del proceso?	¿Cuáles son las salidas del proceso?	¿Quién recibe las salidas ?
Proveedor Externo 1	Cubierta	Plasma	Cubierta con plasma	Operador de Ensamble final 1
Estación Plasma Proveedor Interno 1 Proveedor Externo 2	Cubierta con plasma Tarjeta A Protector de tarjeta	Atornillado de tarjeta A	Cubierta con Tarjeta A y protector atornillados	Operador de Ensamble final 1
Estación de Atornillado de Tarjeta A Proveedor Externo 3 Proveedor Externo 4	Cubierta atornillada Cinta Mica	Pegado de Cintas	Cubierta con cinta y mica	Operador de Ensamble final 2
Proveedor Externo 5 Proveedor Externo 6 Proveedor Externo 7	Difusor 1 Marco plastico Lente	Ensamble S1	Subensamble 1 de proyector	Operador de Ensamble final 2
Estación Ensamble S1 Proveedor Externo 8 Proveedor Externo 9 Proveedor Externo 10 Proveedor Externo 11 Proveedor Externo 12	Subensamble 1 de proyector Soporte Difusor 2 LCD Cable Cubierta L	Ensamble S2	Subensamble 2 de proyector	Operador de Ensamble final 2
Estación Ensamble S2 Proveedor Externo 13 Proveedor Interno 2 Proveedor Externo 14	Subensamble 2 de proyector Base metal Tarjeta L Tornillos	Ensamble S3	Subensamble 3 de proyector	Operador de Ensamble final 3
Estación Ensamble S3 Proveedor Interno 3 Proveedor Externo 15 Proveedor Externo 16 Proveedor Externo 17	Subensamble 3 de proyector Tarjeta P Tapa Base Tornillos	Atornillado de tarjeta P	Proyector y tarjeta P atornillado a base	Operador de Ensamble final 4
Estación Atornillado tarjeta P Proveedor Externo 18 Proveedor Externo 19 Proveedor Externo 20 Proveedor Externo 21	Ensamble de base con proyector y tarjeta P Conector Tornillos Base interior Motor	Atornillado de base interior	Base interior y motor atornillados a base	Operador de Ensamble final 5
Estación Atornillado de base interior Proveedor Externo 22 Proveedor Externo 23 Proveedor Externo 24	Base interior y motor atornillados a base Tornillos Reflector Remaches	Ensamble de remaches	Remaches ensamblados en base	Operador de Ensamble final 5
Estación Ensamble de remaches Proveedor interno 4 Proveedor Externo 25	Remaches ensamblados en base Cubierta con cinta y mica Abrazadera	Cerrado	Cubierta ensamblada con base	Operador de Ensamble final 6
Estación de cerrado Proveedor Externo 26	Head Up Display (Cubierta+Subensamble de base) Etiqueta	Funcional	Head Up Display con pruebas electricas y opticas	Operador de Ensamble final 7
Estación Funcional Proveedor Externo 27 Proveedor Externo 28	Head Up Display Contenedores Etiquetas de caja	Empaque	Head Up Display empacado en contenedores y tarima	Almacén
Almacén	Head Up Display empacado en contenedores y tarima	Embarque	Tarimas con trazabilidad	Ensambladora de autos

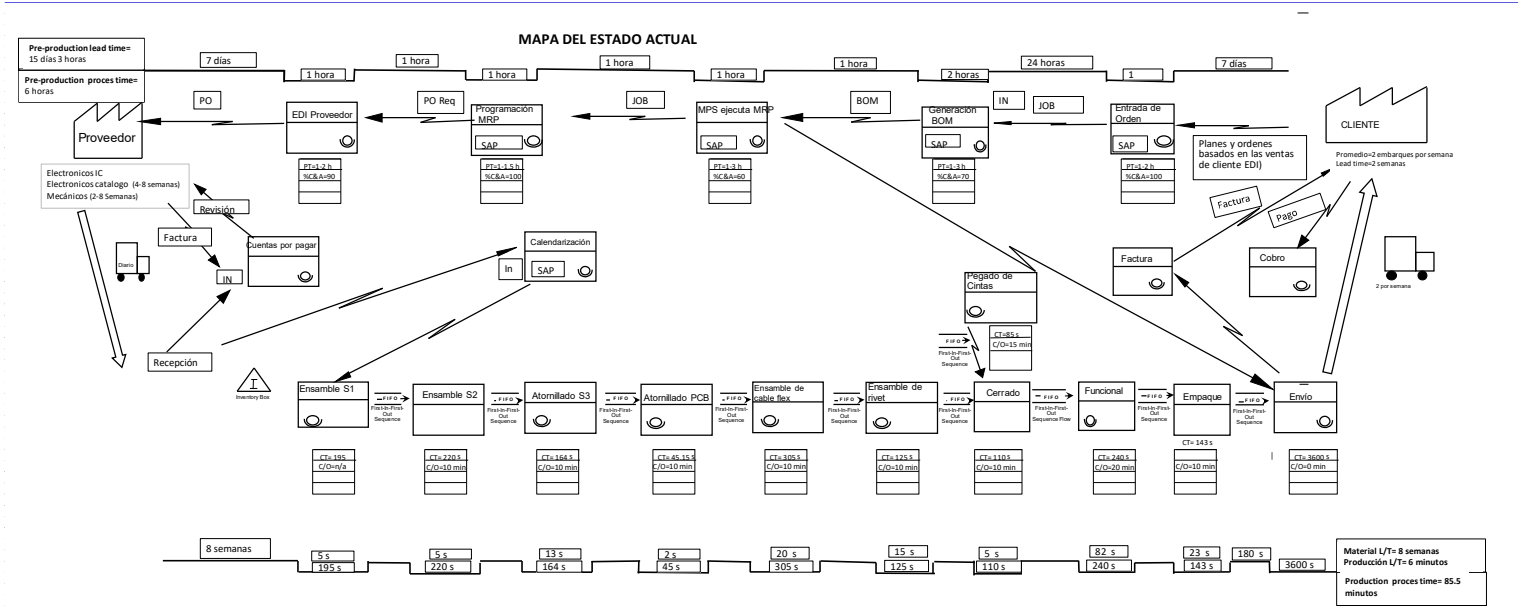
Después de la ejecución del SIPOC del área de ensamble final se identificaron los elementos clave para cada uno de los procesos y los aspectos más importantes son los siguientes:

- El Head up Display tiene un billete de materiales extenso para el área de ensamble final, ya que cuenta con 28 proveedores externos. Por lo tanto es fundamental tener una buena gestión de calidad de proveedores para asegurar que la materia prima cumpla con los requerimientos y especificaciones en especial los componentes ópticos como el LCD, reflector, difusor y la mica ya un defecto tiene una repercusión directa en el desempeño funcional del producto.
- El manejo de material por parte de los operadores es un factor relevante, principalmente en la Estación de ensamble S2, Cerrado y pegado de Cintas, por lo que se requiere tener operadores entrenados para evitar retrabajos o inspecciones adicionales.

1.5.4. Mapeo de la cadena de Valor

El Mapeo de la cadena de valor o VSM por las siglas de (Value Stream Mapping), es una herramienta incluida dentro de la metodología Lean Manufacturing. Se trata de una representación gráfica que permite visualizar, analizar y mejorar el flujo de la producción. Además, esta representación se convierte en una excelente ayuda para mejorar la captura y análisis de la información que se produce durante el proceso productivo. Para este proyecto se realizó un mapeo VSM del área de ensamble final de Head up Display con el objetivo de identificar las principales fuentes de desperdicio de la situación actual del proceso que se muestran en la Figura 5:

Figura 5. Mapa de la cadena de valor situación actual. Creación propia



Descripción de procesos primarios

En la condición actual de los procesos primarios se tienen 5 procesos que están directamente relacionados con el área de logística que son: Ingresar las ordenes de producción de los clientes en el sistema, generar BOM, correr el MRP, Planeación MRP y por último cargar en sistema del proveedor las órdenes de producción. Debido a que el objetivo del proyecto es la reducción del desperdicio en el área de ensamble final el enfoque será en los procesos secundarios.

Descripción de procesos secundarios

Después de realizar el análisis de cadena de valor de los 12 procesos secundarios en el área de ensamble final de Head up Display se identificó que el proceso de Pegado de cintas es el principal proceso ofensor en la métrica de desperdicio por lo que se tiene que analizar a detalle la ejecución e inspección de la prueba, así como los parámetros del equipo, tiempos de ciclo y el cambio de herramientas entre variantes.

1.5.5. Diagrama de Flujo

Los diagramas de flujo se usan para simplificar los procesos y transmitirlos de forma visual de manera que podamos ver cada uno de los procesos y la secuencia o siguiente acción a realizar.

Descripción de flujo de Unidades

Flujo de unidades Buenas

Cuando la unidad pasa la prueba en el primer intento se puede continuar con el siguiente proceso.

Flujo de unidades defectuosas

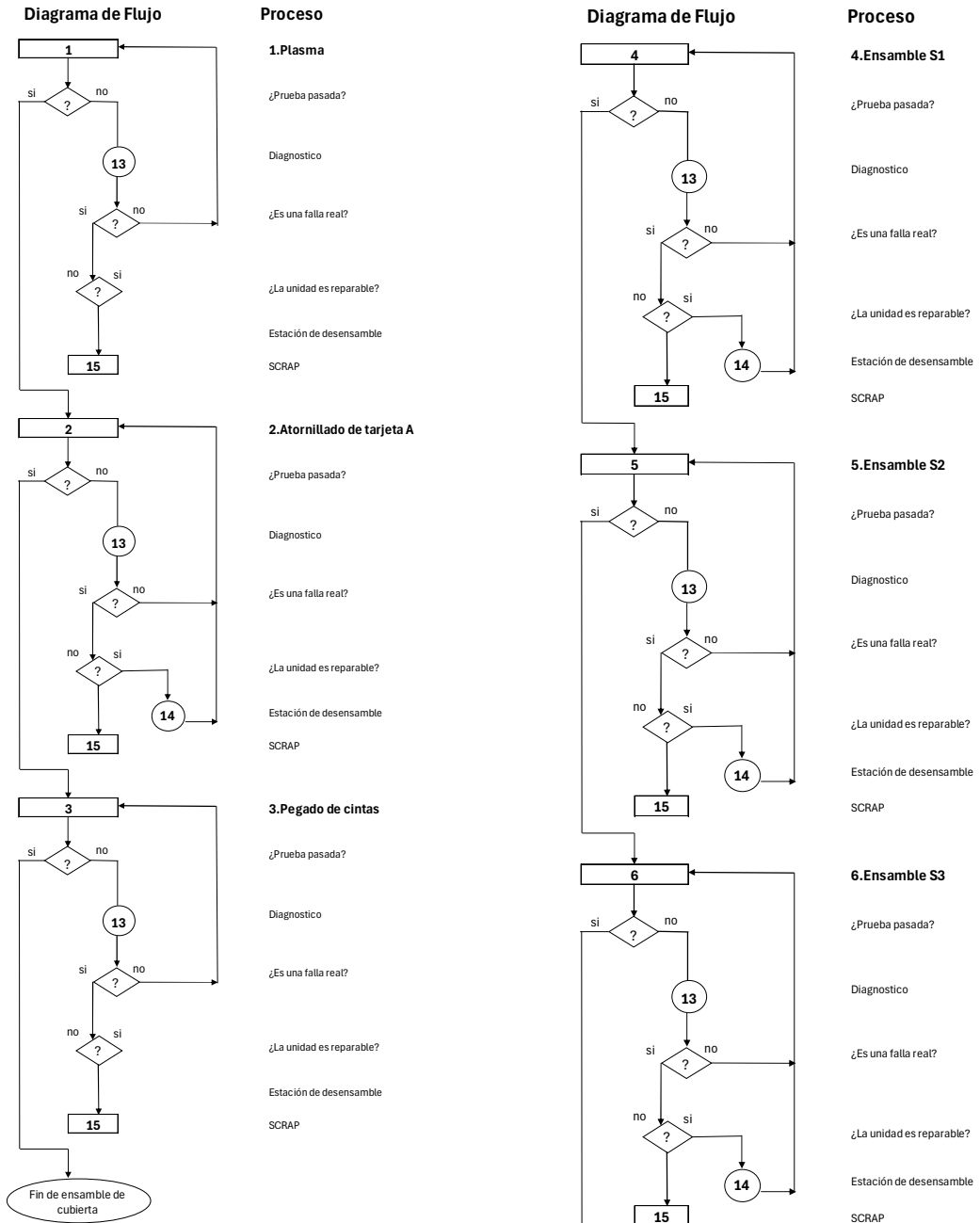
Cuando la unidad falla la prueba se debe llevar a un área de diagnóstico donde el especialista técnico la analiza y confirma si la unidad tiene una falla real o es un falso rechazo.

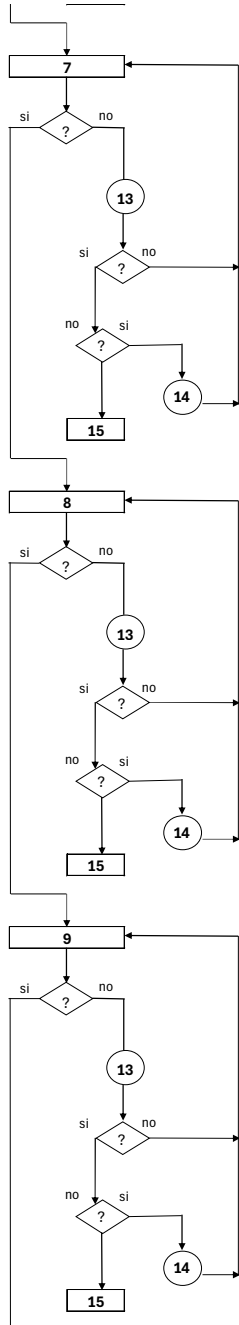
En caso de ser un falso rechazo la unidad se regresa a la estación de trabajo definida por el especialista técnico.

Para las unidades con falla real el especialista técnico define si la unidad se puede reparar para posteriormente ingresarse al proceso o si se da disposición como desperdicio o material no conforme.

En la Figura 6 se muestra la secuencia de procesos del ensamble del Head Up Display en el área de ensamble final desde la estación de plasma hasta el empaque del producto.

Figura 6. Diagrama de Flujo. Creación Propia.





7. Atornillado de tarjeta P

¿Prueba pasada?

Diagnostico

¿Es una falla real?

¿La unidad es reparable?

Estación de desensamble

SCRAP

8. Atornillado base interior

¿Prueba pasada?

Diagnostico

¿Es una falla real?

¿La unidad es reparable?

Estación de desensamble

SCRAP

9. Ensamble de remaches

¿Prueba pasada?

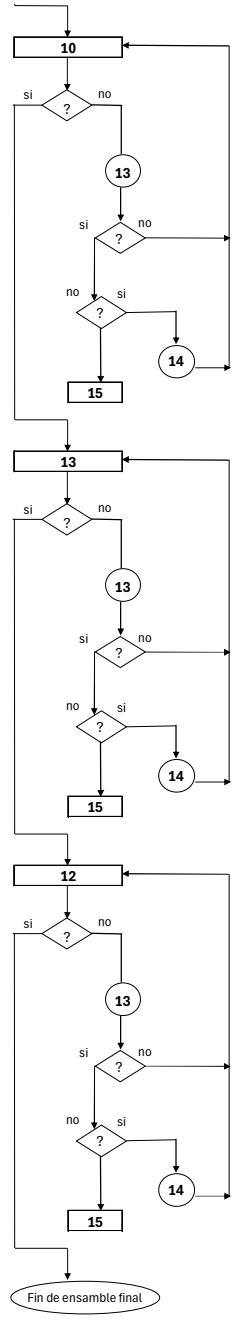
Diagnostico

¿Es una falla real?

¿La unidad es reparable?

Estación de desensamble

SCRAP



10. Cerrado

¿Prueba pasada?

Diagnostico

¿Es una falla real?

¿La unidad es reparable?

Estación de desensamble

SCRAP

11. Funcional

¿Prueba pasada?

Diagnostico

¿Es una falla real?

¿La unidad es reparable?

Estación de desensamble

SCRAP

12. Empaque

¿Prueba pasada?

Diagnostico

¿Es una falla real?

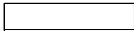




¿La unidad es reparable?

Estación de desensamble

SCRAP

Fin de ensamble final

DESCRIPCIÓN

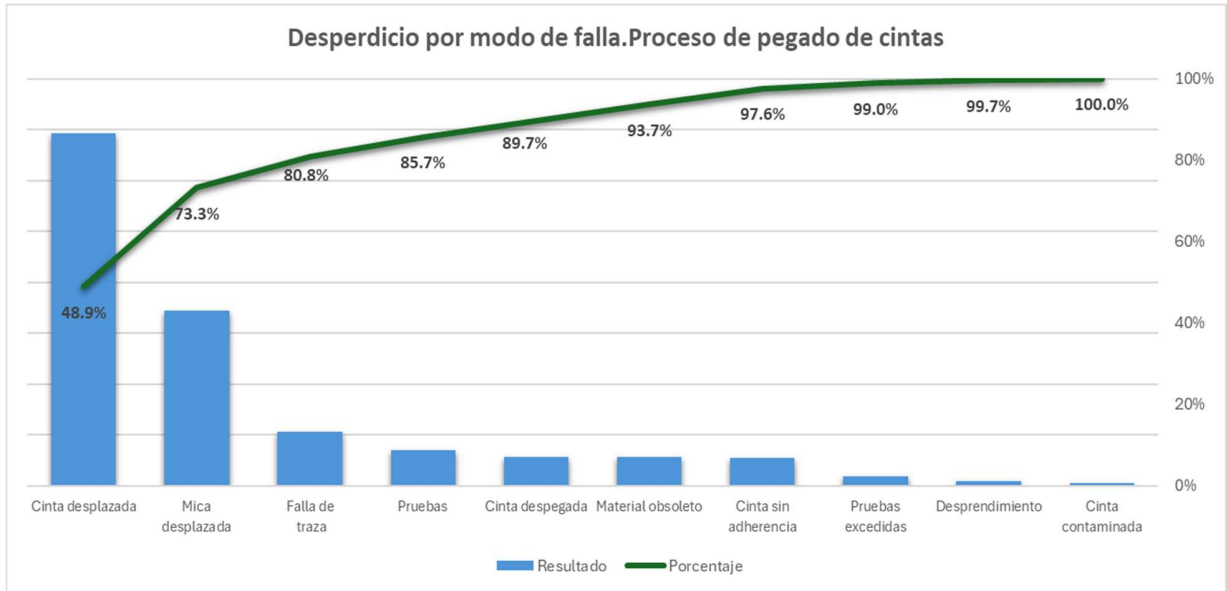
	Proceso automático
	Decisión
	Diagnostico
	Estación de desensamble
	SCRAP

Después de realizar el Diagrama de Flujo de los 12 procesos en el área de ensamble final de Head up Display es importante mencionar que el proceso 1 de Plasma y el proceso 3 de pegado de cintas se vuelven críticos en cuanto a la generación de scrap, ya que los retrabajos o reprocesos no están permitidos por lo tanto la interacción operador-maquina y el análisis del sistema de medición se vuelven fundamental para el FPY del proceso.

1.6. Objetivos de la intervención

El objetivo de este proyecto es reducir el monto del desperdicio o costo de no conformidad sobre ventas en el proceso de pegado de cintas del área de ensamble final en la tecnología de Head up Display de 3.05% a 2% , siguiendo la metodología DMAIC (Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control). El proyecto está enfocado en los dos principales modos falla ofensores del proceso de pegado de cintas que son: Cinta y mica desalineadas como se observa en la Gráfica 4.

Gráfica 4. Desperdicio por modo de falla en el proceso de pegado de cintas. Creación Propia



Como resultado del Pareto por modo de falla del proceso de pegado de cintas se identificó que la cinta y mica desplazadas generan el 73.3 % de la cantidad de desperdicio sobre ventas.

La fecha de cierre del proyecto es Q2 de 2025.

Al reducir el porcentaje del desperdicio o costo de no conformidad sobre ventas se tendrá un beneficio consecuente de reducción de los costos de no calidad (Retrabajos, costos administrativos, inspecciones adicionales).

Figura 7. Project Charter del Proyecto en intervención .Creación propia

Título del Proyecto	Reducción del monto de desperdicio de ensamblajes y componentes en el área de ensamble final en el proceso de pegado de cintas del proyecto Head Up Display ocasionados por retrabajos,inspecciones adicionales,defectos causados por operador y equipos,material cadudo y material con defecto de proveedor para aumentar el margen de utilidad del producto.																								
Unidad de negocio	UE																								
Departamento	Calidad																								
Área de ensamble	Ensamble final																								
Estatus	Iniciado																								
Inicio del Proyecto	20/03/2024																								
Fin del Proyecto	20/04/2025																								
Situación Actual/Descripción del problema	El desperdicio o costo de no conformidad es uno de los KPI's mas importantes del área de manufactura ya que tiene un impacto directo en la utilidad de los Head up Displays. En Octubre de 2023 inició la produccion en serie en el área de ensamble final.El porcentaje acumulado de desperdicio sobre ventas en los últimos 6 meses es de 3.05% ,valor fuera de meta ya que la meta establecida por la compañía para este KPI es de 2%.																								
Situación Futura / Objetivos del proyecto	Reducir el porcentaje de desperdicio o costo de no conformidad sobre las ventas a 2% en el proceso de pegado de cintas para los modos de falla de cinta y mica desplazados. (Mejora de 35%)																								
Acciones de Mejora / Milestones	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DMAIC Milestone</th> <th>Inicio</th> <th>Fin</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.Definicion</td> <td>Q1 2024</td> <td>Q1 2024</td> </tr> <tr> <td>2.Medición</td> <td>Q2 2024</td> <td>Q2 2024</td> </tr> <tr> <td>3.Analisis</td> <td>Q3 2024</td> <td>Q3 2024</td> </tr> <tr> <td>4.Mejora</td> <td>Q4 2024</td> <td>Q1 2025</td> </tr> <tr> <td>5.Control</td> <td>Q1 2025</td> <td>Q1 2025</td> </tr> <tr> <td>6.Cierre del Proyecto</td> <td>Q2 2025</td> <td>Q2 2025</td> </tr> </tbody> </table>				DMAIC Milestone	Inicio	Fin	1.Definicion	Q1 2024	Q1 2024	2.Medición	Q2 2024	Q2 2024	3.Analisis	Q3 2024	Q3 2024	4.Mejora	Q4 2024	Q1 2025	5.Control	Q1 2025	Q1 2025	6.Cierre del Proyecto	Q2 2025	Q2 2025
DMAIC Milestone	Inicio	Fin																							
1.Definicion	Q1 2024	Q1 2024																							
2.Medición	Q2 2024	Q2 2024																							
3.Analisis	Q3 2024	Q3 2024																							
4.Mejora	Q4 2024	Q1 2025																							
5.Control	Q1 2025	Q1 2025																							
6.Cierre del Proyecto	Q2 2025	Q2 2025																							
Sponsor	Luis Ramirez																								
Project Manager	Eduardo Romero																								
Miembros del equipo	Miguel Ascensio(Ingeniero de Calidad) Nahiel Gomez (Ingeniera de Calidad) José Ramirez (Lider de Proyecto) David Mendez (Ingeniero de procesos) Fernanda Raymundo (Ingeniera de procesos)																								
Coach del Proyecto	Guillermo Villarruel																								
Especificaciones de KPIs	Valor antes	Valor Despues	Descripción	Cambio (%)																					
KPI "1" (Nombre y Dimensión)	Desperdicio o Costos de no calidad																								
KPI "1" (Valores)	3.050%	2.00%	Reducción	35%																					
Comentarios	Reduccion de desperdico o costos de no calidad sobre ventas																								

1.7. Delimitaciones y área funcional por intervenir

El proyecto de mejora se va a aplicar en el área de negocios de UE, específicamente en el proceso de pegado de cintas del área de ensamble final de Head Up Display y solo se van a atacar los dos principales ofensores: Cinta y mica desplazadas, ya que como lo muestra la Gráfica 3 estos dos modos de falla son los que generan más monto de desperdicio.

Como se describe en el Project Charter (Figura 7), el periodo de inicio del proyecto es el Q1 de 2024 y el cierre del proyecto es el Q2 de 2025. El objetivo principal es reducir el porcentaje de desperdicio sobre ventas o costos de no calidad. Este KPI es liderado y monitoreado por el área de calidad.

1.8. Relevancia y pertinencia del trabajo

Después del análisis del porcentaje de desperdicio sobre ventas en los últimos 6 meses que abarcan un periodo de octubre 2023 a marzo 2024 el resultado del porcentaje acumulado de desperdicio sobre ventas es de 3.05%, valor fuera de meta, ya que la meta establecida por la compañía para este KPI es de 2.0%.

2. Marco conceptual de referencia

2.1. Estado de la cuestión

La pantalla frontal (HUD) permite al usuario ver los datos mostrados sin apartar su vista del mundo exterior, además es una tecnología de visualización que superpone imágenes en el interior del parabrisas para permitir a los conductores ver la información mientras mantienen la vista en la carretera.

La introducción de estrictas regulaciones gubernamentales en materia de seguridad, la reducción continua del precio de los Head Up Display, el avance de las tecnologías como la pantalla de cristal líquido LCD y los diodos emisores de luz (LED) para mostrar imágenes más brillantes y bien definidas, además del crecimiento orgánico de la producción de automóviles, están impulsando a los fabricantes de automóviles a desarrollar y mejorar el sistema de visualización frontal para que los conductores puedan recibir alertas con varias notificaciones, como una llamada telefónica, velocidad de conducción, navegación y colisión inminente cuando el vehículo de delante está frenando. Según un estudio realizado por la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA por sus siglas en inglés), alrededor del 80% de los accidentes que ocurren en los Estados Unidos de América se deben a la distracción del conductor. Con los rápidos avances tecnológicos que se están produciendo en la industria automotriz, los HUD han ayudado a los conductores a ver no solo la información del vehículo sino también la información del entorno cercano.

El mercado de los Head Up Display está creciendo en los últimos años, ya que no solo los vehículos de alta gama o de lujo incluyen esta tecnología, sino que también los autos convencionales se están diseñando con pantallas frontales, sistemas de navegación e interacción de teléfonos inteligentes. Con base en datos históricos el mercado de Head Up Display para automóviles registró un valor de cerca de 1.27 millones de dólares en 2021 y se espera que para el año de 2027 crezca hasta 4.46 mil millones de dólares. La región de América del Norte es la que tendrá el mayor crecimiento en el uso de la tecnología Head Up Display, seguido de la región Europa en segundo lugar y, por último, la región Asia-Pacífico.

Empresas líderes del sector automotriz como Denso, Continental AG, Hudway LLC, Visteon Corporation y Robert Bosch GmbH, están invirtiendo en actividades de investigación y desarrollo para el desarrollo de sistemas HUD avanzados para maximizar los ingresos y expandir su presencia alrededor del mundo.

Figura 8. Empresas líderes de producción de HUDs. Creación propia



2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados

Evolución del infoentretenimiento en la Industria Automotriz; Tablero de instrumentos y pantallas

Desde inicios del siglo XX hasta el día de hoy, el interior del automóvil ha cambiado drásticamente; uno de los principales impulsores de este cambio es el avance tecnológico, ya que su objetivo es hacer una experiencia de manejo cada vez más cómoda para los usuarios.

Si antes era común ver dispositivos análogos como tableros de instrumentos con indicadores de agujas o radios plagados de duros botones, en la actualidad es cada vez más común controlar los dispositivos digitales y sus funciones en el interior del vehículo como el tablero de instrumentos o la pantalla principal del automóvil por medio de un celular o usando nuestros dedos gracias al sistema touch.

La constante evolución de la tecnología en las últimas décadas y la necesidad de los usuarios de estar conectados 24/7, impulsaron el desarrollo de avanzados y complejos sistemas de infoentretenimiento que mejoran la comodidad, seguridad y experiencia en los vehículos.

Los dispositivos y la mecánica del automóvil nunca volvieron a ser los mismos desde la irrupción del mundo digital ¿Cómo fue la evolución del infoentretenimiento en la industria automotriz y porque ha avanzado tan rápido?

A continuación, se presenta una breve historia:

- **Inicios del Siglo XX.**

A finales del siglo XIX en Europa comenzaron a desarrollarse carros motorizados para facilitar el transporte de personas y mercancías. Con el paso del tiempo la interacción entre los transeúntes y los carros motorizados comenzó a causar accidentes y contratiempos por lo que fue necesario crear un dispositivo para medir la velocidad en los vehículos. En 1888 el croata Josip Beluši fue el primer inventor del velocímetro para automóviles, pero no fue hasta el año de 1902 que el alemán Otto Schulze creó y patentó un nuevo tipo de velocímetro que consistía en un eje giratorio y magnetismo que posteriormente el estadounidense John Stewart lo perfeccionaría para convertir su empresa Stewart-Warner como líder del mercado y que se usaría durante más de 80 años.

- **Década de los 50's y los 70's.**

A mediados de los años 50 la empresa VDO revolucionó el velocímetro al fabricarlos eléctricamente.

En 1976 Aston Martin presentó el primer automóvil del mundo en tener un tablero digital y control táctil. Mas tarde en 1978 Cadillac diseñó un tablero digital que tenía un velocímetro digital, una computadora de viaje, con lo que se podía mostrar el consumo promedio y la temperatura.

- **Década de los 80's y los 90's.**

En los años 90 los velocímetros con sistema de rodillo fueron reemplazados por los de cristal líquido. A medida que pasaba el tiempo este instrumento se convertía en el centro de atención, ofreciendo otros tipos de beneficios al conductor aparte de la velocidad.

Además, los fabricantes optaron por crear pantallas LCD con mayor resolución que facilitarían el trabajo al conductor.

- **Siglo XXI.**

Los vehículos modernos cuentan con una variedad de pantallas, cada una diseñada para funciones específicas. Si bien la seguridad sigue siendo primordial, mejorar la experiencia del usuario ha ganado importancia por lo que impulsa a la industria a imaginar y desarrollar pantallas interactivas.

Las pantallas se están convirtiendo en una característica estándar en todo tipo de vehículos, desde HUD hasta pantallas de ventanas laterales y pantallas de tablero. La pantalla de cristal líquido (LCD) es actualmente la tecnología más predominante para pantallas de automóviles debido a su rentabilidad y confiabilidad, ya que logra un equilibrio entre calidad de imagen y brillo. Los nombres destacados en el mercado de LCD incluyen Tianma, BOE y AUO. La flexibilidad y disponibilidad hacen del LCD la opción preferida de los fabricantes de automóviles.

Las pantallas de campo luminoso y la holografía generada por computadora son las próximas grandes innovaciones que traerán vistas en 3D.

3. Marco metodológico de referencia

La metodología Lean Seis Sigma DMAIC consiste en cinco etapas que se utilizan para resolver problemas complejos, mejorar procesos, reducir los defectos y aumentar la calidad como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. DMAIC. Creación Propia.



1. Definir.

- Definir claramente el problema o la oportunidad de mejora, los objetivos y el alcance de los beneficios esperados.
- Conocer la Voz del cliente (VOC) comprender sus perspectivas y requisitos para analizarlos y determinar sus necesidades y expectativas.

2. Medir.

- Establecer el rendimiento de referencia del proceso mediante la recopilación de datos donde se incluya qué medir, cómo medirlo y cuándo recopilar los datos.
- Determinar el rendimiento del proceso.

3. Analizar.

- Identificar la causa raíz de los problemas y las oportunidades de mejora.
- Analizar los datos para validar las hipótesis y señalar las áreas que requieren atención.

4. Mejorar.

- Desarrollar y aplicar soluciones para abordar los problemas detectados.
- Probar las mejoras propuestas a pequeña escala para evaluar su eficacia e introducir los ajustes necesarios.
- Despliegue de las soluciones finalizadas en toda la organización.

5. Control.

- Establecer medidas de control para mantener las mejoras.
- Realizar auditorías periódicas para garantizar el cumplimiento de los procesos estandarizados y revise los KPI para detectar desviaciones.

Mediante la definición de problemas, la medición del rendimiento, el análisis de las causas raíz, la implantación de mejoras y el establecimiento de medidas de control, se pueden

transformar retos complejos en oportunidades de crecimiento. Adoptar DMAIC no es sólo una metodología; es un compromiso con la excelencia que puede llevar a las organizaciones a un viaje de mejora continua y excelencia operativa.

3.1. Definición preliminar de la metodología, selección de las herramientas requeridas y el cronograma.

Con el objetivo de identificar, las principales causas y variables que ocasionan la variación de los procesos de producción y que al final tienen una repercusión directa con la métrica del desperdicio del Head Up Display se seleccionaron algunas herramientas como son el análisis de variables X-Y, análisis de capacidad del proceso, análisis del sistema de medición, diagrama de Pareto y el Diagrama de Ishikawa como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Herramientas fase de medición. Creación propia

Herramienta	Aplicación
Matriz X-Y	Análisis de las variables X que ocasionan un impacto en la Y (desperdicio)
Análisis del Sistema de medición	Evaluación del método de prueba, el instrumento de medición y el proceso de obtención de mediciones para asegurar la integridad de los datos usados para el análisis
Análisis de capacidad del proceso	Conocer la variabilidad de los datos y analizar la capacidad que tiene un proceso para cumplir las especificaciones

3.2. Análisis de referencia

En la matriz X-Y de la Tabla 3 se muestran las variables cuantitativas que tienen un impacto directo en calidad del pegado de la cinta, ya que en caso de cumplir las especificaciones de dibujo, prueba o proceso generan desperdicio o costo de no conformidad del proceso de Pegado de cintillas y Cerrado.

Tabla 3. Matrix X-Y de defectos en el pegado de la cinta a la cubierta. Creación Propia

Análisis de variable Y				
	Variable	Descripción		Proceso
Y	Desperdicio de cubierta con cinta	% de Desperdicio sobre ventas		Pegado de Cintas

Análisis de variable X				
	Variable	Unidad	Especificación	Defecto
X1	Posición de la cinta posición 1	mm	0.9 +/-0.6	Falla de posición
X2	Posición de la cinta posición 2	mm	0.9 +/-0.6	Falla de posición
X3	Posición de la cinta posición 3	mm	0.9 +/-0.6	Falla de posición
X4	Posición de la cinta posición 4	mm	0.9 +/-0.6	Falla de posición
X5	Tiempo de prensado	s	20s +/- 1	Cinta no adherida Falla de posición
X6	Fuerza de prensado	N	1600 +/-160	Cinta no adherida Falla de posición

Descripción de las variables X de defectos en el pegado de la cinta a la cubierta

X1 Posición de la cinta. Es la distancia entre el borde de la cinta y la cubierta. Es una especificación definida en el dibujo de ensamble y se valida por medio de una cámara automática, la especificación es de 0.9 ± 0.6 y se mide en milímetros.

X2 Posición de la cinta. Es la distancia entre el borde de la cinta y la cubierta. Es una especificación definida en el dibujo de ensamble y se valida por medio de una cámara automática, la especificación es de 0.9 ± 0.6 y se mide en milímetros.

X3 Posición de la cinta. Es la distancia entre el borde de la cinta y la cubierta. Es una especificación definida en el dibujo de ensamble y se valida por medio de una cámara automática, la especificación es de 0.9 ± 0.6 y se mide en milímetros.

X4 Posición de la cinta. Es la distancia entre el borde de la cinta y la cubierta. Es una especificación definida en el dibujo de ensamble y se valida por medio de una cámara automática, la especificación es de 0.9 ± 0.6 y se mide en milímetros.

X5 Tiempo de prensado. Es el tiempo con el que se prensa la cinta con la cubierta. Tiene una especificación de dibujo de ensamble de 20 ± 1 y se mide en segundos.

X6 Fuerza de prensado. Es la fuerza con la que se prensa la cinta con la cubierta. Tiene una especificación de proceso de 1600 ± 160 y se mide en Newtons.

En la matriz X-Y de la Tabla 4 se muestran las variables cuantitativas que tienen un impacto directo en calidad del pegado de la mica, ya que en caso de cumplir las especificaciones de

dibujo, prueba o proceso generan desperdicio o costo de no conformidad del proceso de Pegado de cintillas y Cerrado.

Tabla 4. Matrix X-Y de defectos en el pegado de la mica a la cubierta Creación propia

Análisis de variable Y			
	Variable	Descripción	Proceso
Y	Desperdicio de cubierta con cinta y mica	% de Desperdicio sobre ventas	Pegado de Cintas

Análisis de variable X				
	Variable	Unidad	Especificación	Defecto
X1	Posición de la mica posición 1	mm	0.9 +/-0.6	Falla de posición
X2	Posición de la mica posición 2	mm	0.9 +/-0.6	Falla de posición
X3	Posición de la mica posición 3	mm	0.9 +/-0.6	Falla de posición
X4	Posición de la mica posición 4	mm	0.9 +/-0.6	Falla de posición
X5	Tiempo de prensado	s	20s +/- 1	Cinta no adherida Falla de posición
X6	Fuerza de prensado	N	1600 +/-160	Cinta no adherida Falla de posición

Descripción de las variables X de defectos en el pegado de la mica a la cubierta

X1 Posición de la mica. Es la distancia entre el borde de la mica y la cubierta. Es una especificación definida en el dibujo de ensamble y se valida por medio de una cámara automática, la especificación es de 0.9 +/- 0.6 y se mide en milímetros.

X2 Posición de la mica. Es la distancia entre el borde de la mica y la cubierta. Es una especificación definida en el dibujo de ensamble y se valida por medio de una cámara automática, la especificación es de 0.9 ± 0.6 y se mide en milímetros.

X3 Posición de la mica. Es la distancia entre el borde de la mica y la cubierta. Es una especificación definida en el dibujo de ensamble y se valida por medio de una cámara automática, la especificación es de 0.9 ± 0.6 y se mide en milímetros.

X4 Posición de la mica. Es la distancia entre el borde de la mica y la cubierta. Es una especificación definida en el dibujo de ensamble y se valida por medio de una cámara automática, la especificación es de 0.9 ± 0.6 y se mide en milímetros.

X5 Tiempo de prensado. Es el tiempo con el que se prensa la mica con la cinta y la cubierta. Tiene una especificación de dibujo de ensamble de 20 ± 1 , y se mide en segundos.

X6 Fuerza de prensado. Es la fuerza con la que se prensa la mica con la cinta y la cubierta. Tiene una especificación de proceso de 1600 ± 160 y se mide en Newtons.

Después de hacer un análisis de regresión en el capítulo 3.5 se confirmó que no hay suficiente evidencia para concluir que la fuerza y el tiempo de prensado están relacionados con el desplazamiento por lo que se hizo un replanteamiento de las X y Y del proyecto enfocadas en las variables del equipo de medición.

3.3. Metas de información

En la nueva matriz X-Y de la Tabla 5 se muestran las variables cuantitativas y cualitativas del equipo de medición que tienen un impacto directo en calidad del producto, ya que en caso de cumplir las especificaciones de dibujo, prueba o proceso generan desperdicio o costo de no conformidad del proceso de Pegado de cintillas y Cerrado.

Tabla 5. Nueva matriz X-Y de defectos en el pegado de la cinta a la cubierta. Creación Propia

Análisis de variable Y			
	Variable	Descripción	Proceso
Y	Desperdicio de cubierta con cinta y mica desalineada	% de Desperdicio sobre ventas	Pegado de Cintas

Análisis de variable X				
	Variable	Tipo	Rango	Defecto
X1	Dirección de análisis	Cualitativa	Inversa Adelante	Falla de posición
X2	Dirección de borde	Cualitativa	Oscuro a claro Claro a oscuro	Falla de posición
X3	Sensibilidad del borde	Cuantitativa discreta	0-100	Falla de posición
X4	Ancho de filtro del borde	Cuantitativa discreta	0-100	Falla de posición
X5	Intensidad del borde inferior	Cuantitativa discreta	0-200	Falla de posición
X6	Mejora de imagen	Cualitativa	Brillo Sombra Off	Falla de posición

Descripción de las variables X de defectos en el pegado de la cinta a la cubierta

X1 Dirección de análisis. Es un parámetro de la cámara de inspección que evalúa el posicionamiento de la cinta y la mica. Es una variable cualitativa y tiene dos opciones: Inversa o Adelante.

X2 Dirección del borde. Es un parámetro de la cámara de inspección que evalúa el posicionamiento de la cinta y la mica. Es una variable cualitativa y tiene dos opciones: Oscuro a claro y Claro a oscuro.

X3 Sensibilidad del borde. Es un parámetro de la cámara de inspección que evalúa el posicionamiento de la cinta y la mica. Es una variable cuantitativa discreta y su rango va de 0 a 100.

X4 Ancho del filtro del borde. Es un parámetro de la cámara de inspección que evalúa el posicionamiento de la cinta y la mica. Es una variable cuantitativa discreta y su rango va de 0 a 100.

X5 Intensidad del borde inferior. Es un parámetro de la cámara de inspección que evalúa el posicionamiento de la cinta y la mica. Es una variable cuantitativa discreta y su rango va de 0 a 200.

X6 Mejora de la imagen. Es un parámetro de la cámara de inspección que evalúa el posicionamiento de la cinta y la mica. Es una variable cualitativa y tiene tres opciones: Brillo, sombra y Off.

3.4. Identificación, descripción y cuantificación de métricas iniciales.

3.4.1. Análisis del Sistema de Medición (MSA)

En la industria de manufactura, especialmente en la industria automotriz, la variabilidad en los procesos y productos es inevitable.

Uno de los aspectos más importantes para la calidad es el asegurar que tengamos la capacidad completa de realizar mediciones confiables. Sin mediciones confiables sería imposible proveer de productos consistentes y seguros a la industria automotriz.

El MSA o Análisis del Sistema de Medición es la herramienta de Core Tools del sector automotriz que se encarga de asegurar el proceso completo usado para obtener mediciones y además es un requerimiento de la norma IATF 16949.

El MSA evalúa dos aspectos importantes del proceso de medición: Exactitud (ubicación) y Precisión (Dispersión).

De acuerdo con la AIAG, un sistema de medición es el conjunto de instrumentos o gages, patrones, operaciones, métodos, software, personal, medio ambiente y supuestos usados en la obtención de mediciones.

El estudio Gage R&R es un método usado para analizar el sistema de medición y determinar la cantidad de variación (error) obtenido en la medición.

Para evaluar el sistema de medición del equipo del proceso del pegado de cintas y mica a la cubierta se realizó un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad (Gage R&R Cruzado)

mediante el método de análisis ANOVA que nos ayuda a evaluar la capacidad del proceso de manera precisa y consistente.

El diseño del Gage R&R para el proceso de pegado de cintas y mica fue el siguiente:

- 10 piezas.
- 3 operadores.
- 3 réplicas.

Este gage R&R ejecutado con una pieza patrón nos ayudó a calcular la variación total en el sistema de medición ocasionada por: piezas o elementos medidos, operadores y el equipo de medición. Los criterios de aceptación de la variación porcentual del estudio (%VE o en inglés SV) y del número de categorías distintas en el Total Gage R&R se encuentran en la Tabla 5.

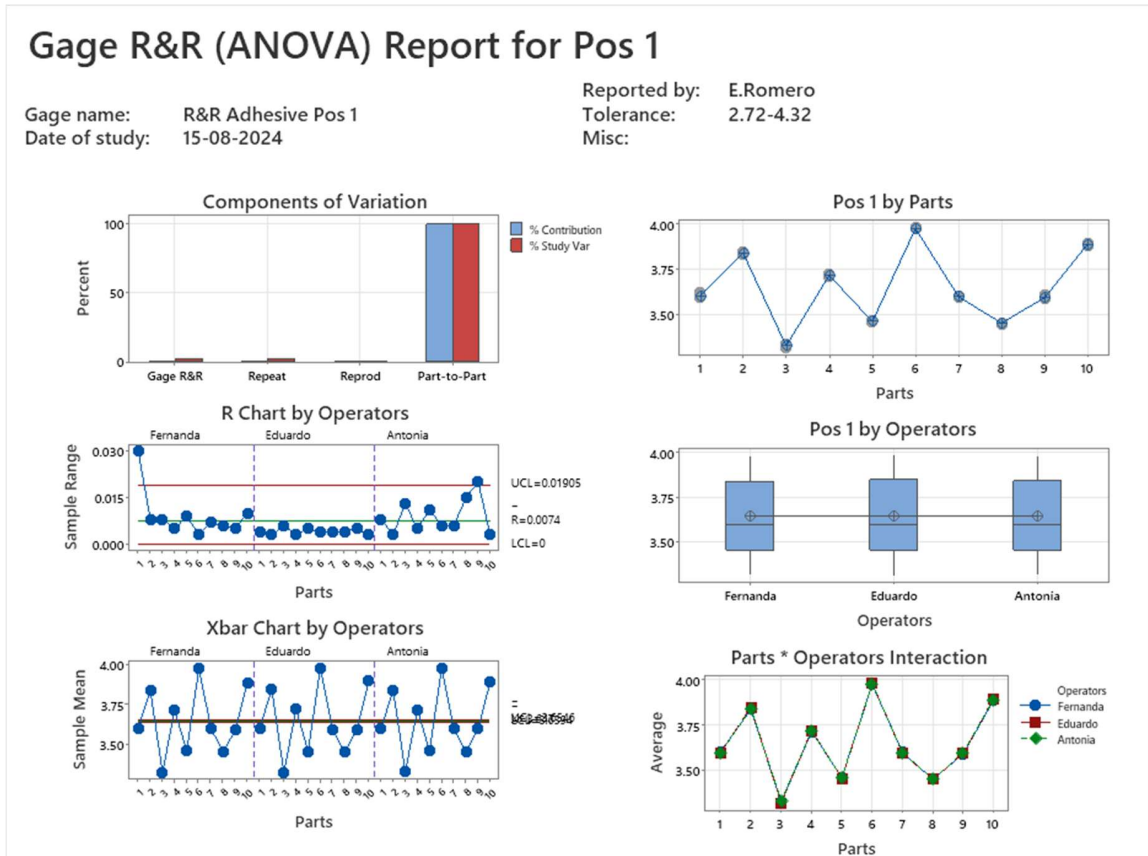
Tabla 6. Criterios de aceptación de la variación porcentual del estudio (%VE) y número de categorías distintas. Creación propia

Criterio	Variación Porcentual del estudio (%VE)	Categorías Distintas
Acceptable	≤ 10	≥ 5
Acceptable con condiciones	10 - 30	3 - 4
No es aceptable	≥ 30	≤ 2

Los resultados del gage R&R para las 4 posiciones se muestran en las Figuras 10,11,12 y 13.

Posición 1

Figura 10. Gage R&R Posición 1. Creación Propia



1

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3.57055	0.396728	10351.8	0.000
Operators	2	0.00007	0.000037	1.0	0.403
Parts * Operators	18	0.00069	0.000038	1.6	0.090
Repeatability	60	0.00144	0.000024		
Total	89	3.57276			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3.57055	0.396728	14524.6	0.000
Operators	2	0.00007	0.000037	1.3	0.268
Repeatability	78	0.00213	0.000027		
Total	89	3.57276			

2

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000276	0.06
Repeatability	0.0000273	0.06
Reproducibility	0.0000003	0.00
Operators	0.0000003	0.00
Part-To-Part	0.0440779	99.94
Total Variation	0.0441055	100.00

3

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.005256	0.03154	2.50
Repeatability	0.005226	0.03136	2.49
Reproducibility	0.000557	0.00334	0.27
Operators	0.000557	0.00334	0.27
Part-To-Part	0.209947	1.25968	99.97
Total Variation	0.210013	1.26008	100.00

4

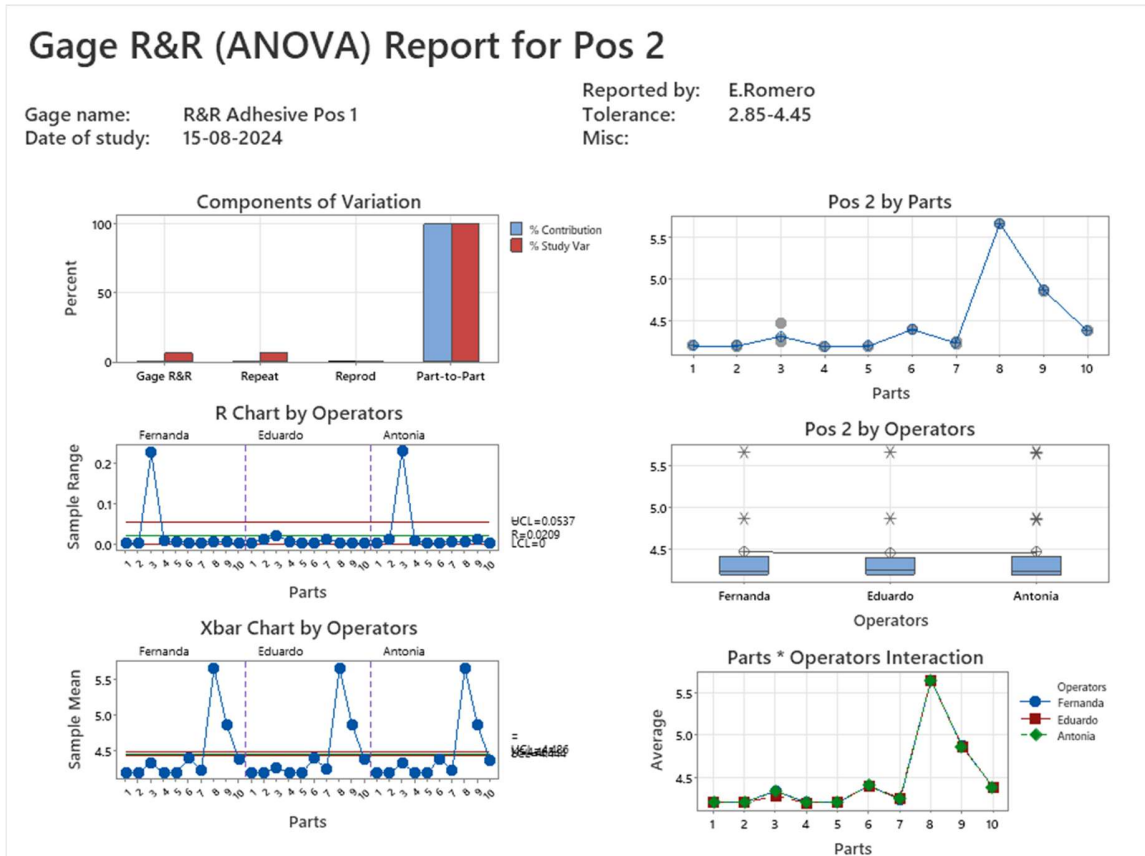
Number of Distinct Categories = 56

Conclusión MSA posición 1:

1. Valor p en las partes < 0.05 (significativo).
2. El porcentaje de contribución para la variación entre las partes = 99.94. Por lo tanto, el sistema de medición puede distinguir entre las partes de manera fiable.
3. Total Gage R&R (%SV) = 2.5 **Acceptable**.
4. Número distinto de categorías = 56 **Acceptable**.

Posición 2

Figura 11. Gage R&R Posición 2. Creación Propia



1

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	17.6790	1.96433	4975.74	0.000
Operators	2	0.0004	0.00021	0.54	0.593
Parts * Operators	18	0.0071	0.00039	0.37	0.990
Repeatability	60	0.0648	0.00108		
Total	89	17.7514			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	17.6790	1.96433	2129.48	0.000
Operators	2	0.0004	0.00021	0.23	0.795
Repeatability	78	0.0720	0.00092		
Total	89	17.7514			



2

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000922	0.42
Repeatability	0.000922	0.42
Reproducibility	0.000000	0.00
Operators	0.000000	0.00
Part-To-Part	0.218157	99.58
Total Variation	0.219079	100.00

3

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.030372	0.18223	6.49
Repeatability	0.030372	0.18223	6.49
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00
Operators	0.000000	0.00000	0.00
Part-To-Part	0.467072	2.80243	99.79
Total Variation	0.468059	2.80835	100.00

4

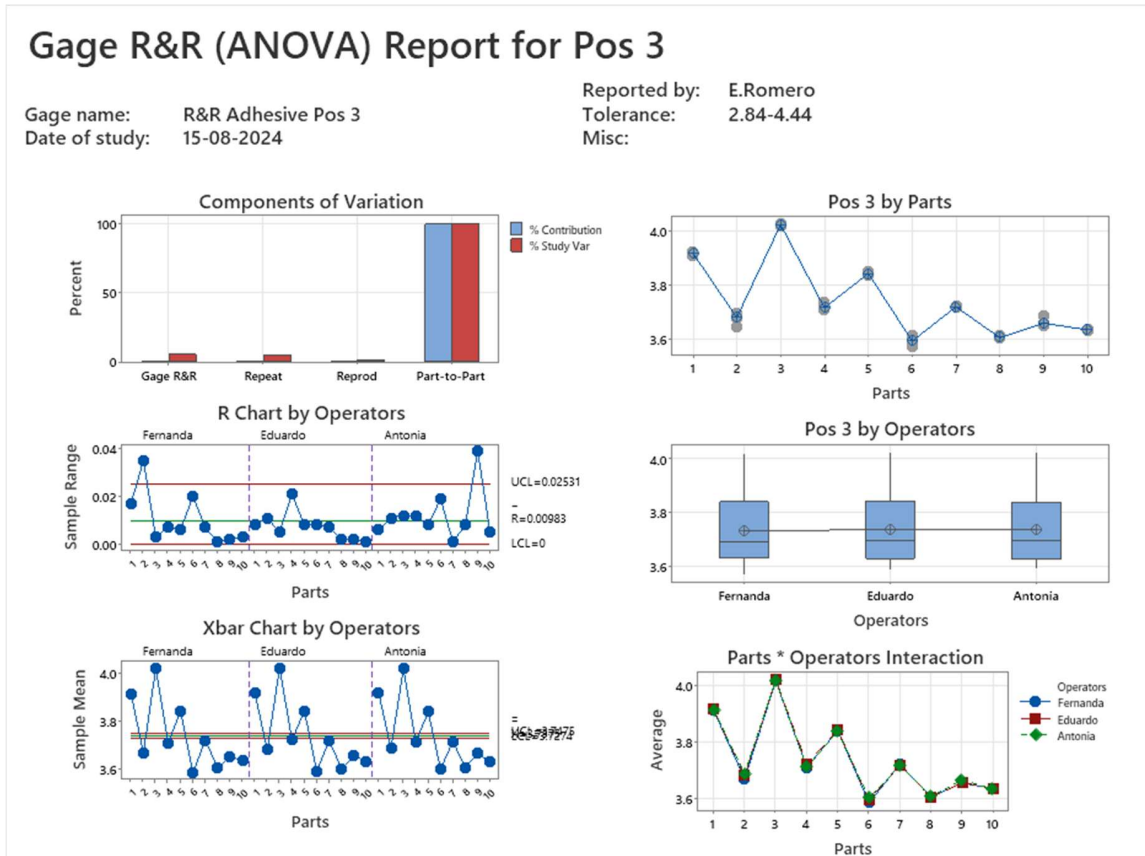
Number of Distinct Categories = 21

Conclusión MSA posición 2:

1. Valor p en las partes < 0.05 (significativo).
2. El porcentaje de contribución para la variación entre las partes = 99.58. Por lo tanto, el sistema de medición puede distinguir entre las partes de manera fiable.
3. Total Gage R&R (%SV) = 6.49 **Acceptable**.
4. Número distinto de categorías = 21 **Acceptable**.

Posición 3

Figura 12. Gage R&R Posición 3. Creación Propia



1

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	1.64686	0.182984	2644.80	0.000
Operators	2	0.00033	0.000164	2.37	0.122
Parts * Operators	18	0.00125	0.000069	1.34	0.195
Repeatability	60	0.00309	0.000051		
Total	89	1.65152			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	1.64686	0.182984	3293.10	0.000
Operators	2	0.00033	0.000164	2.95	0.058
Repeatability	78	0.00433	0.000056		
Total	89	1.65152			

2

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000592	0.29
Repeatability	0.0000556	0.27
Reproducibility	0.0000036	0.02
Operators	0.0000036	0.02
Part-To-Part	0.0203254	99.71
Total Variation	0.0203846	100.00

3

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.007693	0.046155	5.39
Repeatability	0.007454	0.044725	5.22
Reproducibility	0.001900	0.011401	1.33
Operators	0.001900	0.011401	1.33
Part-To-Part	0.142567	0.855403	99.85
Total Variation	0.142775	0.856648	100.00

4

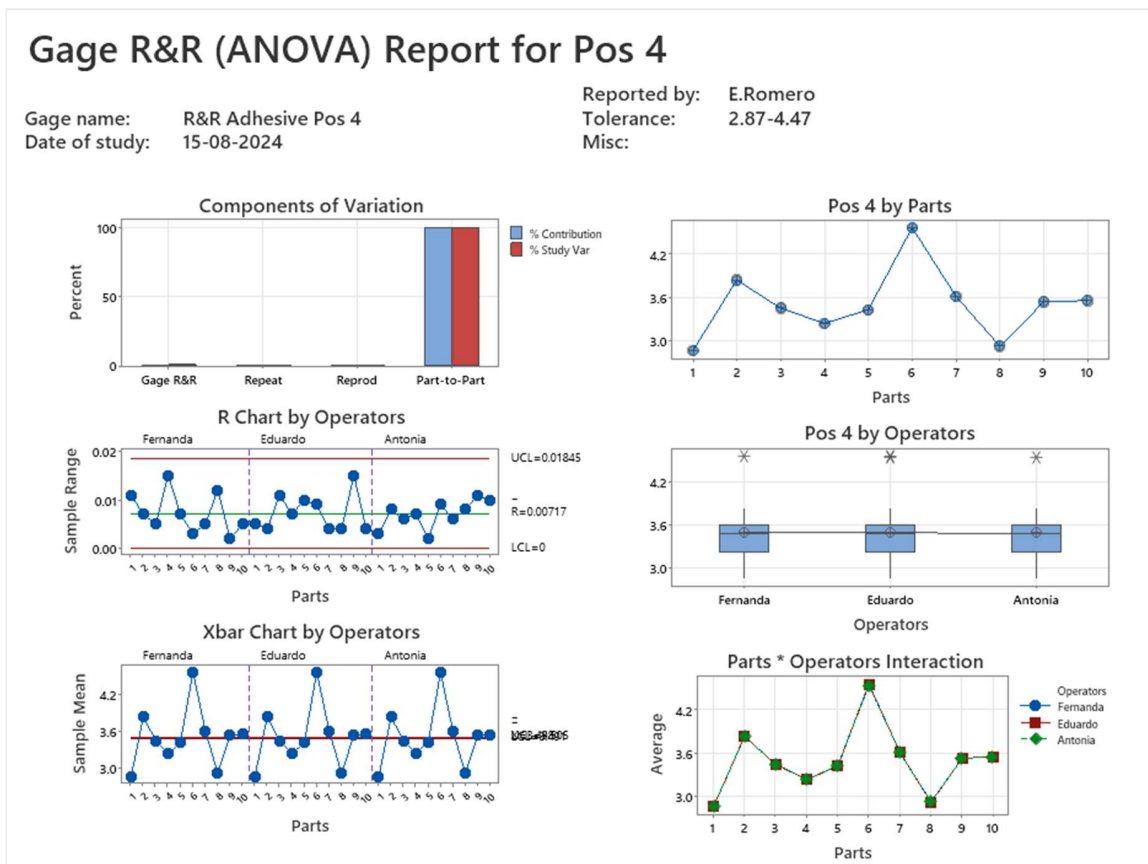
Number of Distinct Categories = 26

Conclusión MSA posición 3:

1. Valor p en las partes < 0.05 (significativo).
2. El porcentaje de contribución para la variación entre las partes = 99.71. Por lo tanto, el sistema de medición puede distinguir entre las partes de manera fiable.
3. Total Gage R&R (%SV) = 5.39 **Acceptable**.
4. Número distinto de categorías = 26 **Acceptable**.

Posición 4

Figura 13. Gage R&R Posición 4. Creación Propia



1

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	18.5795	2.06439	99008.8	0.000
Operators	2	0.0002	0.00011	5.1	0.018
Parts * Operators	18	0.0004	0.00002	1.2	0.265
Repeatability	60	0.0010	0.00002		
Total	89	18.5811			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	18.5795	2.06439	115901	0.000
Operators	2	0.0002	0.00011	6	0.004
Repeatability	78	0.0014	0.00002		
Total	89	18.5811			

2

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000021	0.01
Repeatability	0.000018	0.01
Reproducibility	0.000003	0.00
Operators	0.000003	0.00
Part-To-Part	0.229375	99.99
Total Variation	0.229396	100.00

3

Gage Evaluation

3 Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.004556	0.02734	0.95
Repeatability	0.004220	0.02532	0.88
Reproducibility	0.001717	0.01030	0.36
Operators	0.001717	0.01030	0.36
Part-To-Part	0.478931	2.87359	100.00
Total Variation	0.478953	2.87372	100.00

4

Number of Distinct Categories = 148

Conclusión MSA posición 4:

1. Valor p en las partes < 0.05 (significativo).
2. El porcentaje de contribución para la variación entre las partes = 99.99. Por lo tanto, el sistema de medición puede distinguir entre las partes de manera fiable.
3. Total Gage R&R (%SV) = 0.95 **Acceptable**.
4. Número distinto de categorías = 148 **Acceptable**.

Para explicar de una forma visual los principales modos de falla del proceso de Pegado de cinta y mica se agregaron imágenes de referencia que se explican en las Figuras 14 y 15.

Figura 14. Imágenes de referencia unidades dentro de especificación. Creación Propia



Cubierta con cinta alineada OK



Cubierta con cinta y mica alineada OK

Figura 15. Imágenes de referencia unidades fuera de especificación. Creación Propia



Cinta desalineada a la izquierda **Falla**



Mica desalineada a la izquierda **Falla**



Cinta desalineada a la derecha **Falla**



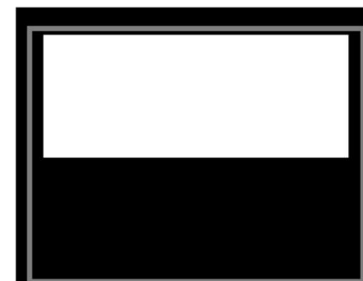
Mica desalineada a la derecha **Falla**



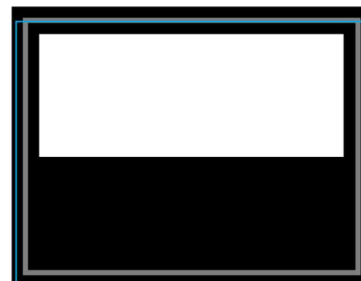
Cinta desalineada hacia arriba **Falla**



Mica desalineada hacia arriba **Falla**



Cinta desalineada hacia abajo **Falla**



Mica desalineada hacia abajo **Falla**

Análisis de capacidad

La variación siempre va a estar presente en los procesos de manufactura, al medir un producto vamos a encontrar diferencias entre una pieza y otra. Entre mayor sea variación del proceso ocasionada por causas comunes o causas especiales, el riesgo de problemas de calidad aumenta; por lo tanto es importante monitorear la variación con gráficos de control.

El SPC o Control estadístico de procesos es un método utilizado para monitorear la variación y por lo tanto la calidad del producto durante el proceso de manufactura. El SPC es una de las herramientas de Core Tools del sector automotriz y además es un requerimiento de la norma IATF 16949.

La capacidad del proceso se utiliza para evaluar a la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad y conocer en qué medida cumple con las especificaciones o requisitos del cliente.

El Cpk y el Ppk son indicadores de la capacidad real que toman en cuenta el centrado del proceso con respecto a las especificaciones. El Cpk es un indicador capacidad de corto plazo y el Ppk un indicador de largo plazo. En la Tablas 6 y 7 se muestran los criterios de aceptación.

Tabla 7. Criterios de aceptación Ppk. Creación propia.

Criterio	Índice Cpk
Aceptable	> 1.67
Aceptable con condiciones	≥ 1.33 o ≤ 1.67
No es aceptable	< 1.33

Tabla 8. Ppk, Nivel sigma, ppms. Creación propia.

Índice Cpk	Nivel sigma	Partes por millón fuera de especificación
0.33	1	317300
0.67	2	45500
1.00	3	2700
1.33	4	63
1.67	5	0.57
2.00	6	0.002

Una vez confirmado que el sistema de medición es aceptable y con el objetivo de establecer una línea base para cuantificar la tasa de defectos e identificar la naturaleza del problema, se procedió con un análisis de capacidad en Minitab del proceso del pegado de cintas y mica en las 4 posiciones de la cinta y la cubierta y se analizaron las siguientes gráficas:

1. Prueba de normalidad.
2. Gráficas de Medias.
3. Gráfica de rangos.
4. Análisis de capacidad y nivel sigma.

En este análisis se evaluaron 125 datos que se obtuvieron de 25 subgrupos (turnos de producción) con 5 partes por cada subgrupo. En la Tabla 8 se muestran los requerimientos de la AIAG.

Tabla 9. Requerimientos mínimos de piezas de acuerdo con la AIAG. Creación propia.

Número de partes por subgrupo	Número de subgrupo	Número total de partes medidas
5	25	125

Debido a que los 125 datos obtenidos no siguen una distribución normal ($p \text{ value} < 0.05$) se utilizó la transformada de Johnson para el análisis. Los resultados se muestran a continuación en las Figuras 16 a 24.

Figura 16. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 1. Creación Propia

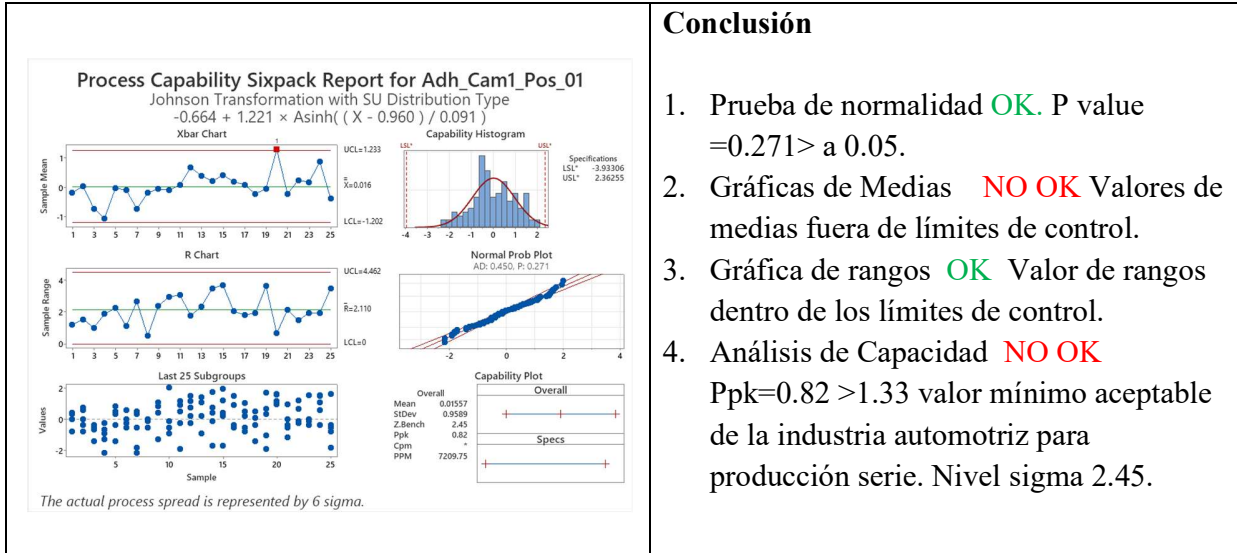


Figura 17. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 2. Creación Propia

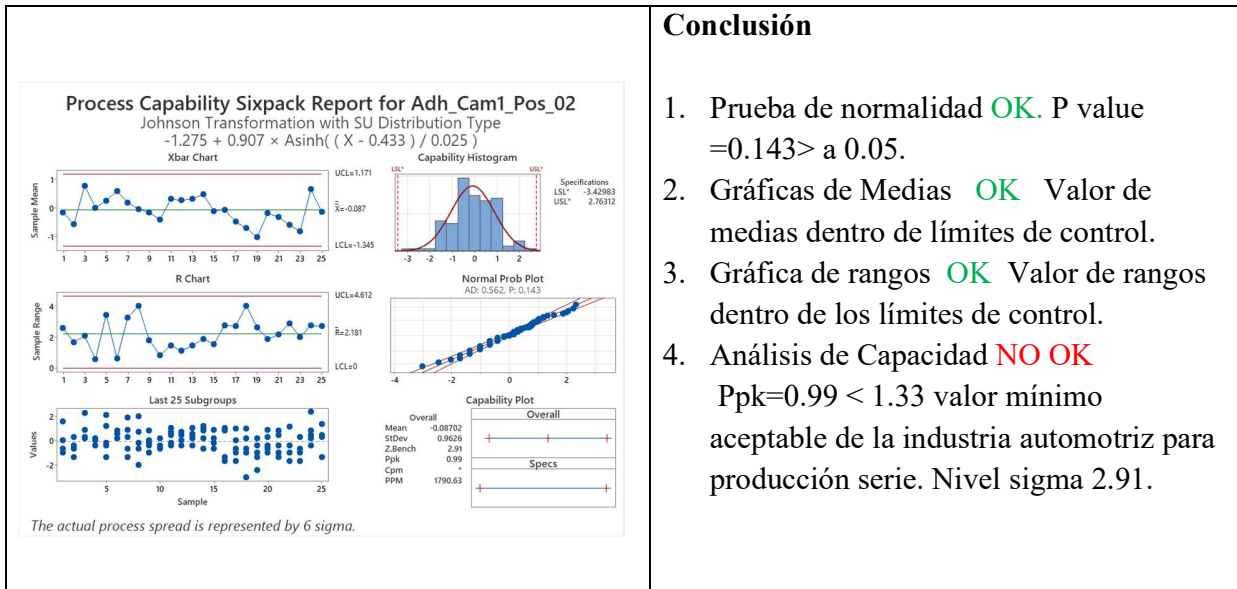


Figura 18. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 3. Creación Propia

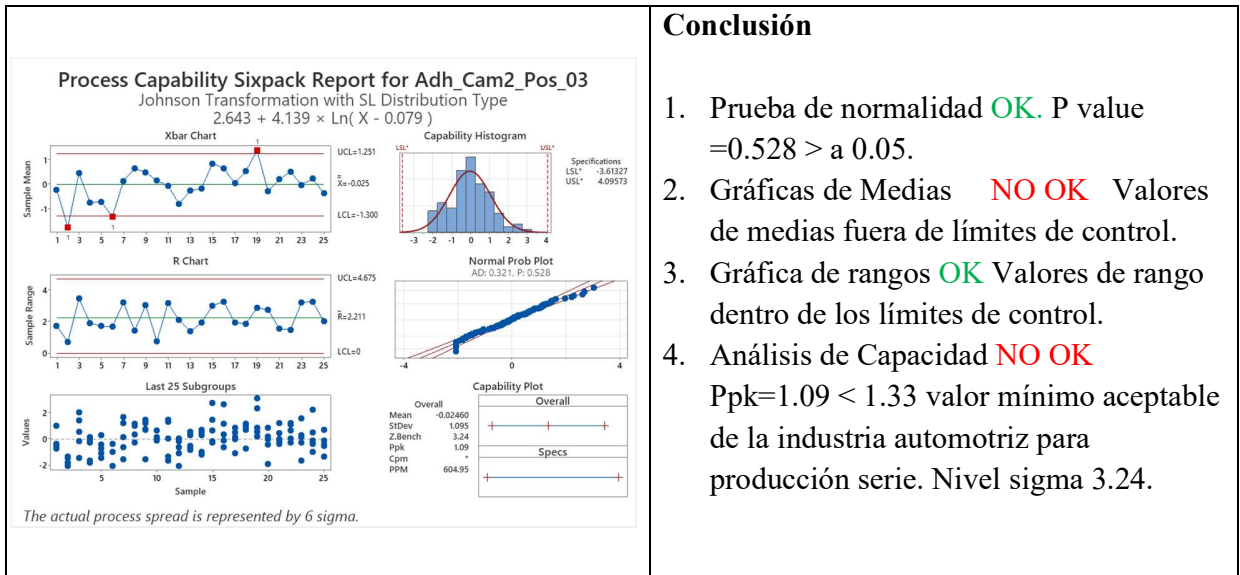


Figura 19. Análisis de Capacidad de cinta Posición 4. Creación Propia

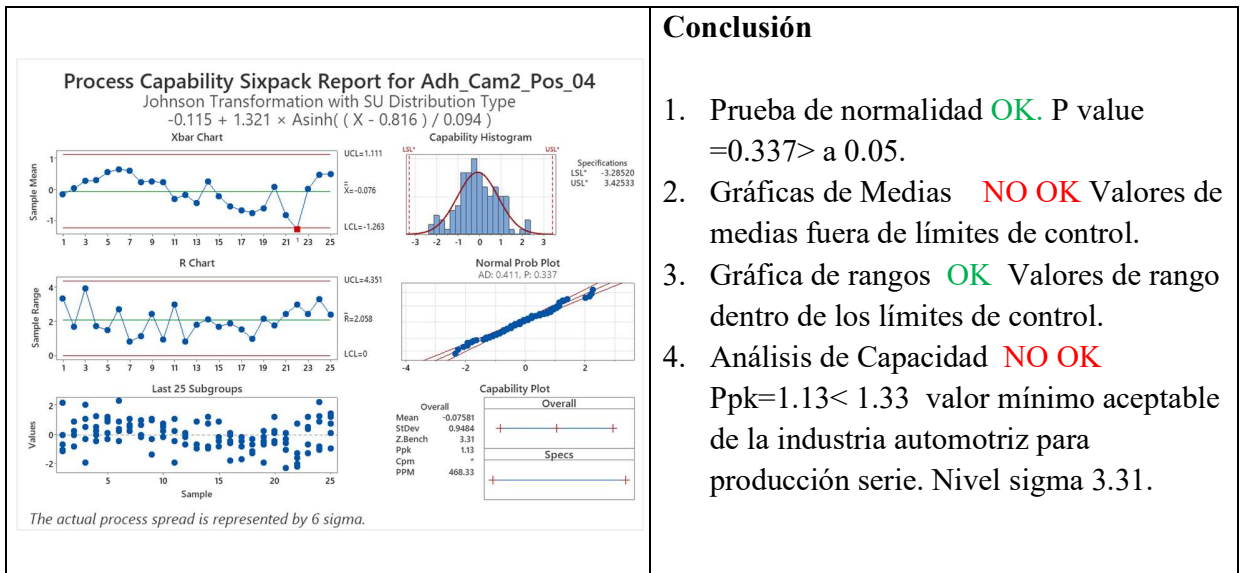


Figura 20. Análisis de Capacidad de Mica Posición 1. Creación Propia

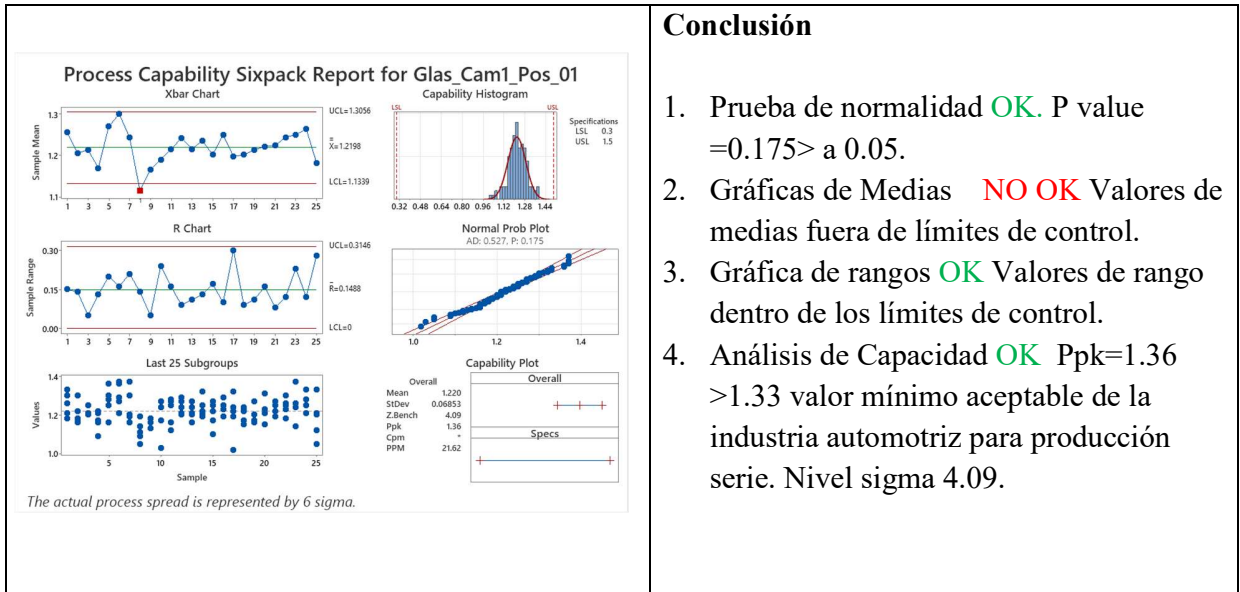


Figura 21. Análisis de Capacidad de Mica Posición 2. Creación Propia

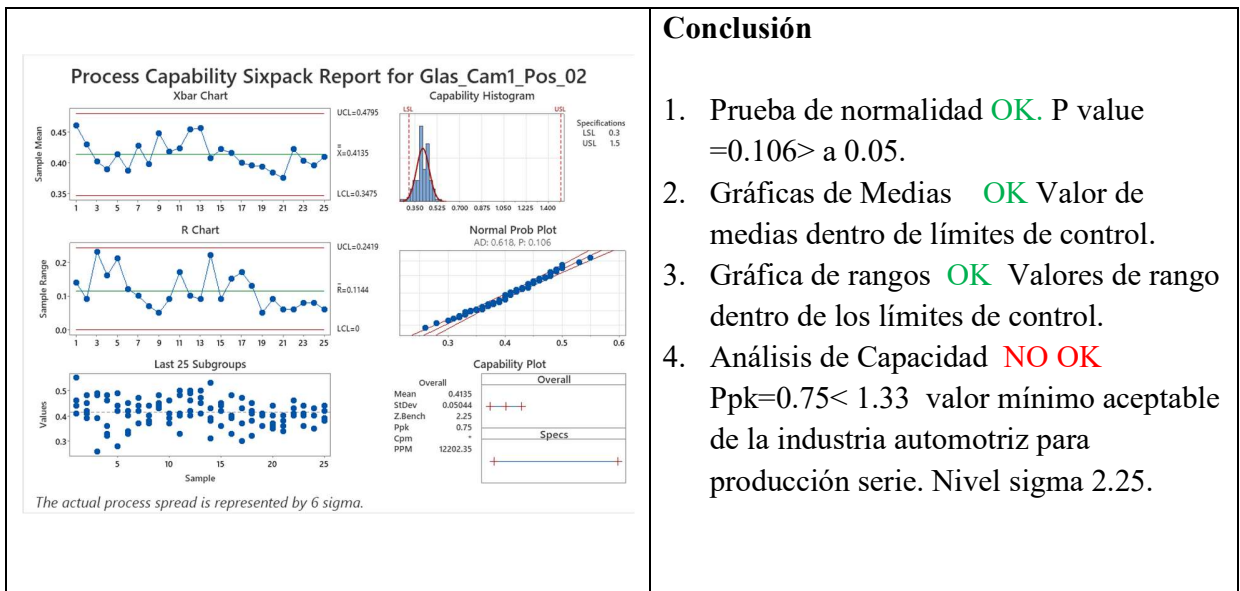


Figura 22. Análisis de Capacidad de Mica Posición 3. Creación Propia

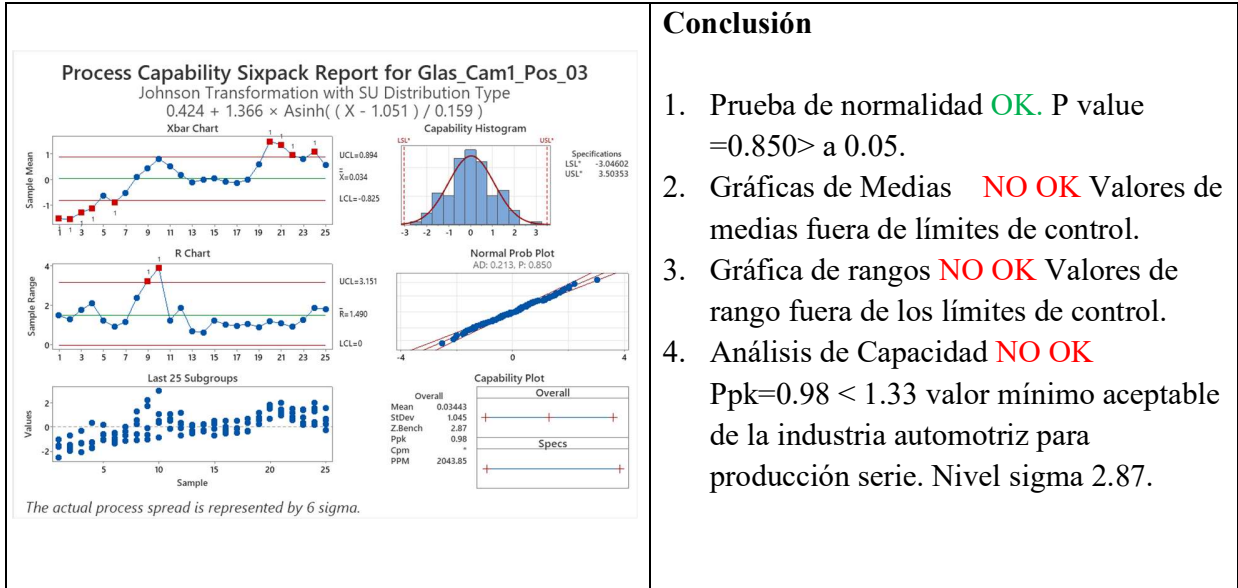
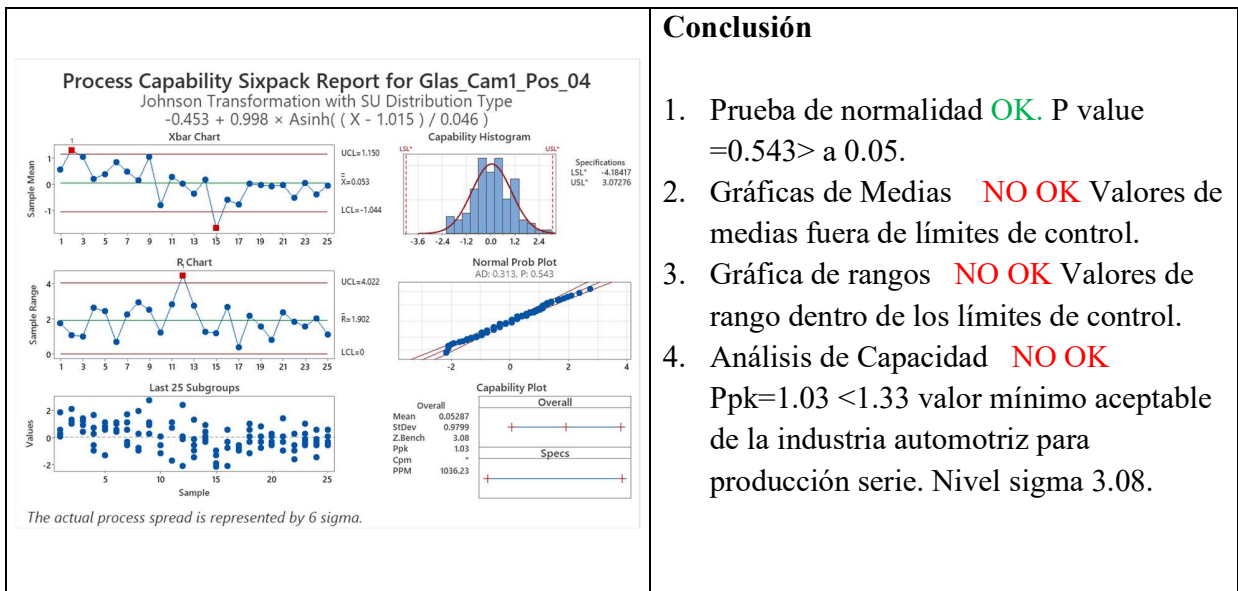


Figura 23. Análisis de Capacidad de Mica Posición 4. Creación Propia



3.5. Descripción del análisis: correlación e interpretación de la información obtenida.

En la tercera etapa del DMAIC: Análisis; las herramientas como el Diagrama de Ishikawa y análisis de regresión nos ayudan para identificar las fuentes de variación en las entradas del proceso y su influencia en las salidas.

Además, mediante la prueba de hipótesis podemos determinar si los cambios en las entradas del proceso generan cambios o mejoras en las salidas. Su aplicación se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Herramientas fase de Análisis. Creación propia

Herramienta	Aplicación
Diagrama de Ishikawa	Método gráfico que relaciona el problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan.
Análisis de regresión	Se utiliza para modelar y evaluar la fuerza de la relación entre las entradas (X) y las salidas (Y).
Prueba de Hipótesis	Herramienta estadística utilizada para determinar si los cambios en las entradas generan cambios en las salidas del proceso

3.5.1. Análisis de regresión Fuerza y tiempo de prensado

Tomando en cuenta el planteamiento inicial de las variables X-Y descrito en el apartado 3.2 se realizó un análisis de regresión para determinar si la fuerza y el tiempo de prensado(X) tienen un impacto significativo en el desplazamiento de la cinta como de la mica (Y) y por

consecuencia generan desperdicio en el proceso. Los resultados se muestran en las Figuras 24 a 31.

Figura 24. Análisis de Regresión de Cinta Posición 1. Creación Propia

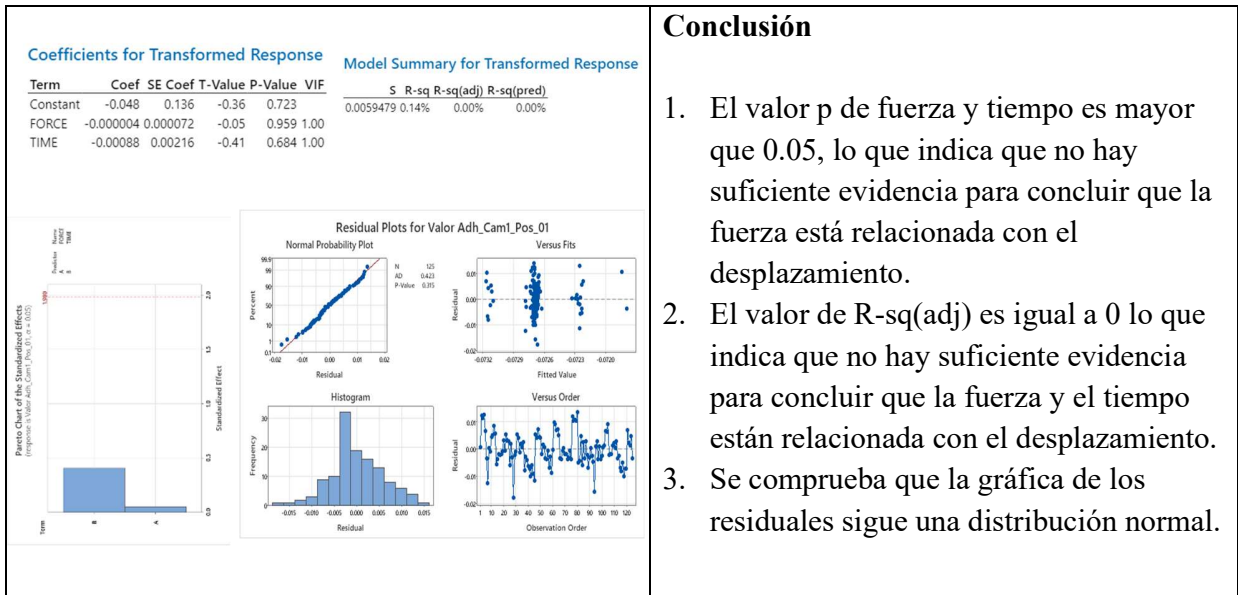


Figura 25. Análisis de Regresión de Cinta Posición 2. Creación Propia

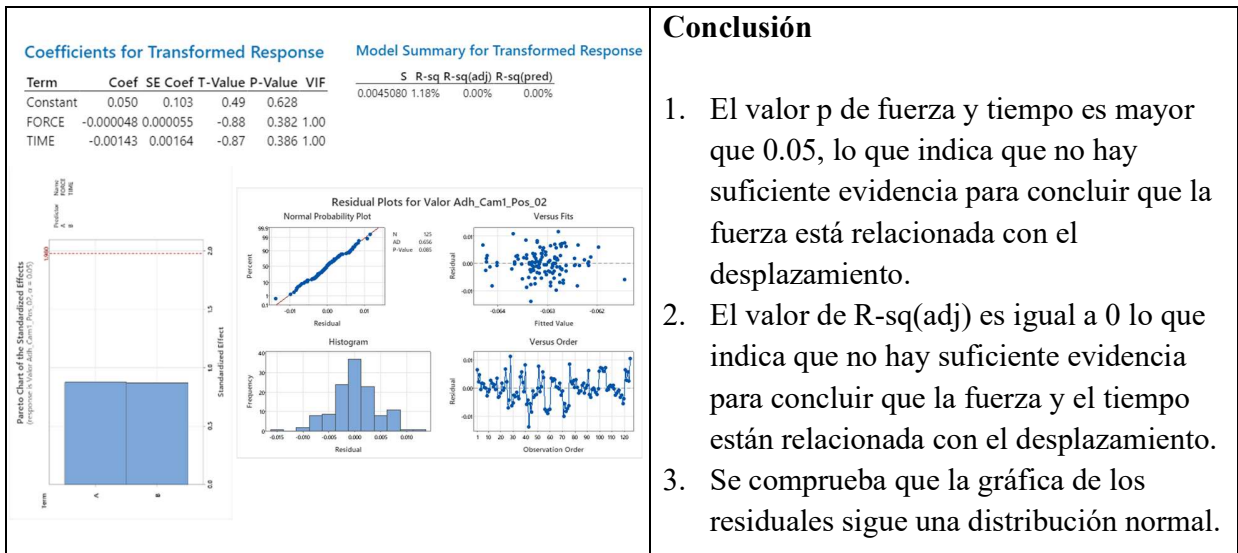


Figura 26. Análisis de Regresión de Cinta Posición 3. Creación Propia

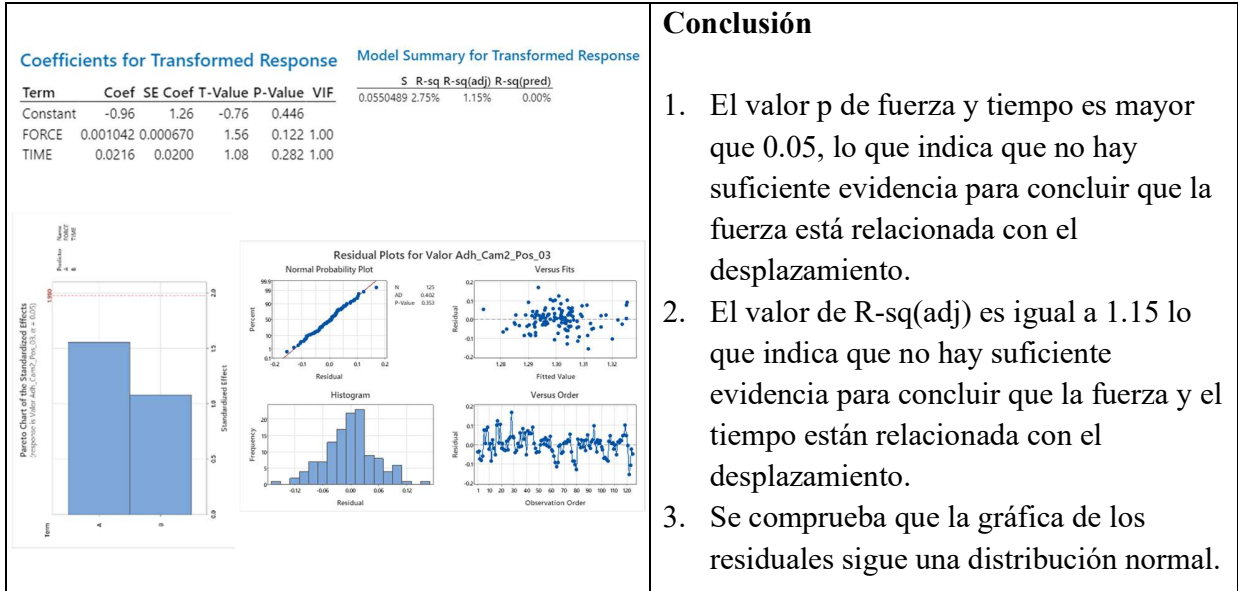


Figura 27. Análisis de Regresión de Cinta Posición 4. Creación Propia

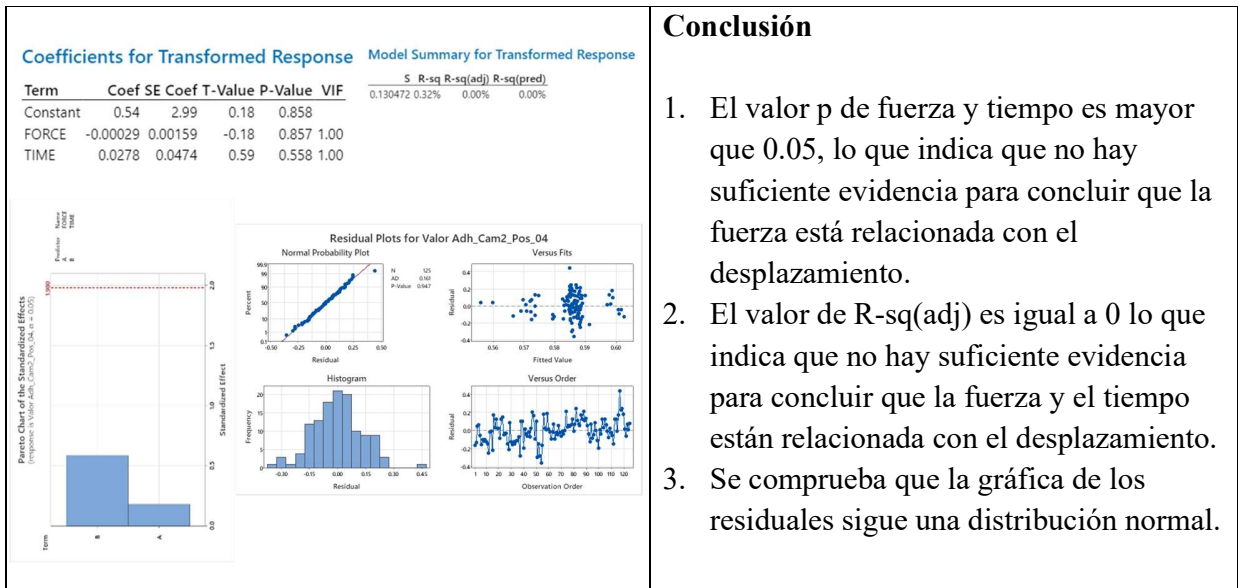


Figura 28. Análisis de Regresión de Mica Posición 1. Creación Propia

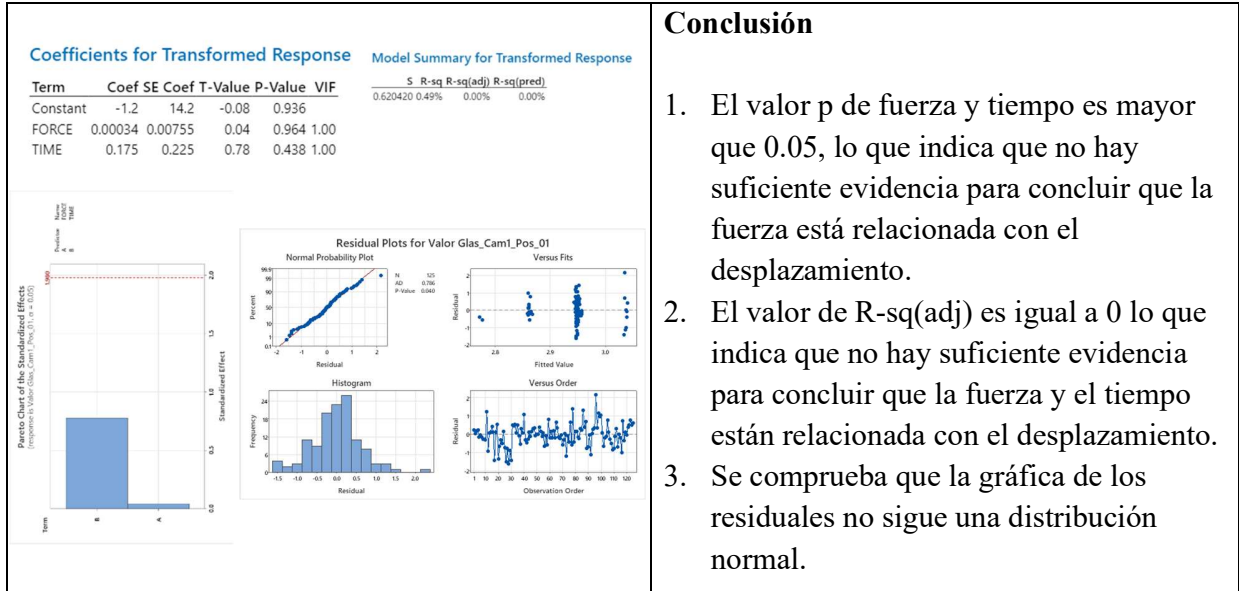


Figura 29. Análisis de Regresión de Mica Posición 2. Creación Propia

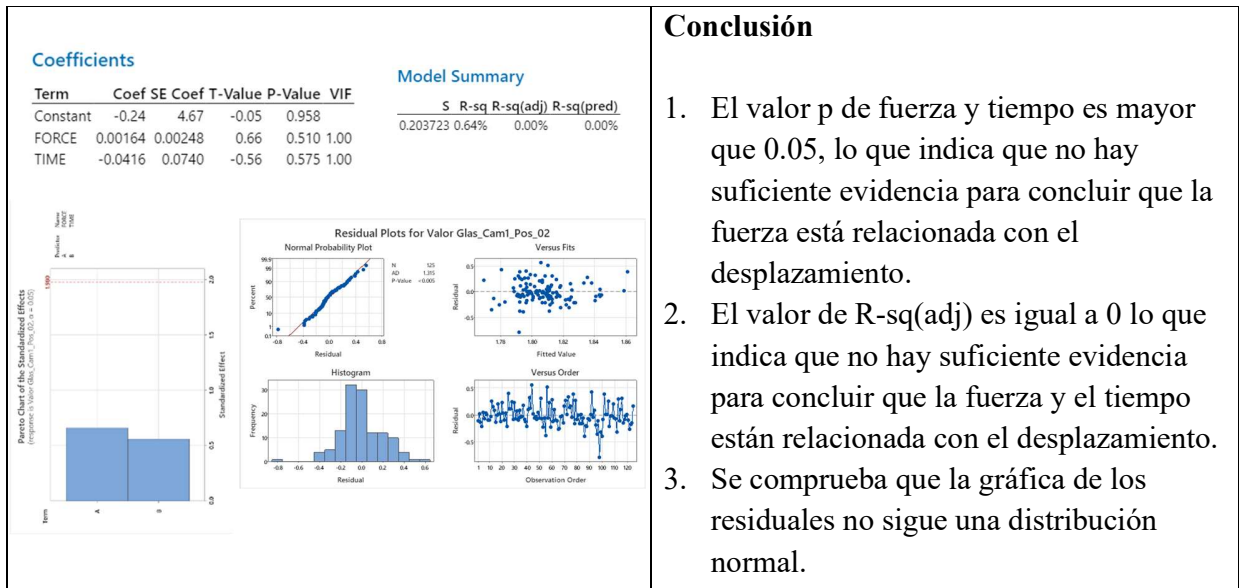


Figura 30. Análisis de Regresión de Mica Posición 3. Creación Propia

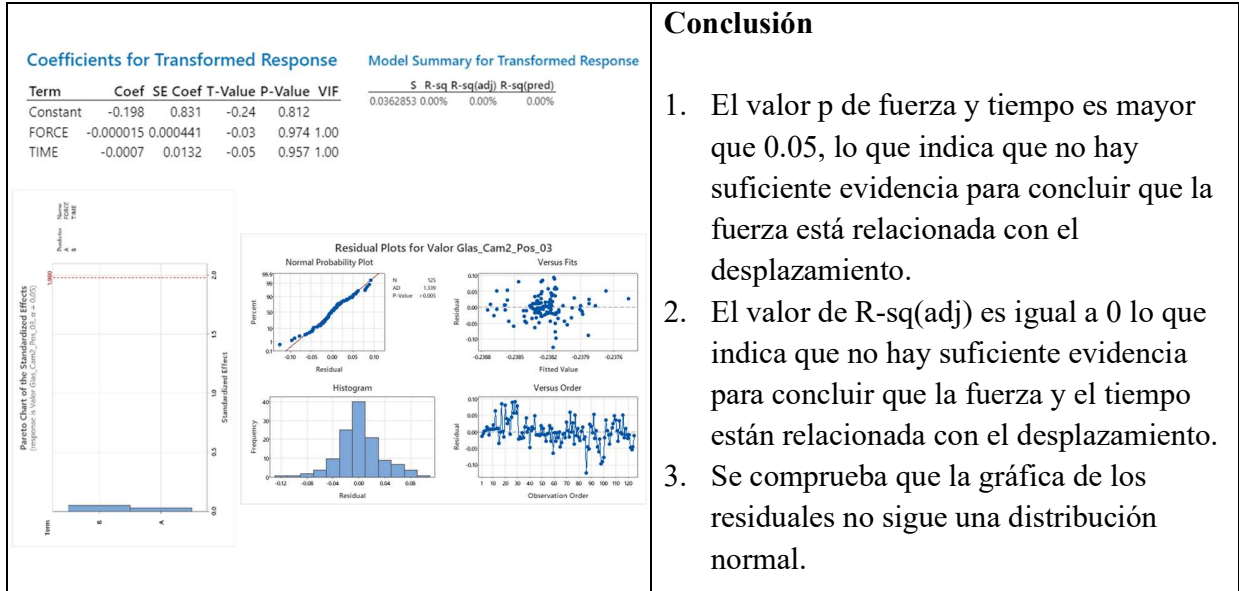
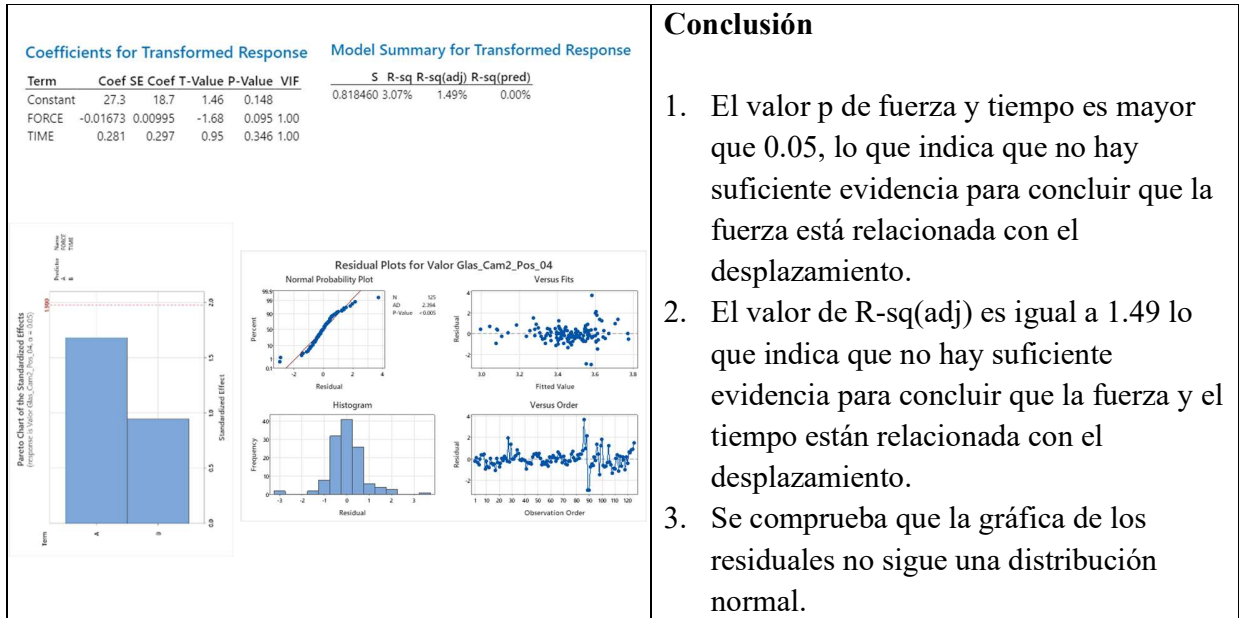


Figura 31. Análisis de Regresión de Mica Posición 4. Creación Propia



Después de llevar a cabo el análisis de regresión en las 4 posiciones de la cinta y las 4 de la mica respectivamente se confirmó que no hay suficiente evidencia para concluir que la fuerza y el tiempo de prensado están relacionados con el desplazamiento; por lo tanto se descartan estas variables para análisis posteriores.

3.5.2. Análisis de regresión de variables de cámara de inspección

Después de hacer el replanteamiento de las variables X-Y descrito en el apartado 3.3 se realizó un análisis de regresión para determinar si las variables: Dirección de análisis, dirección del borde, sensibilidad del borde, ancho del filtro del borde, Intensidad del borde inferior y mejora de la imagen (X) tienen un impacto significativo en el desplazamiento de la cinta como de la mica (Y) y por consecuencia generan desperdicio en el proceso. Los resultados se muestran en las Figuras 32 a 39:

Figura 32. Análisis de Regresión variables de cámara Cinta Posición 1. Creación Propia

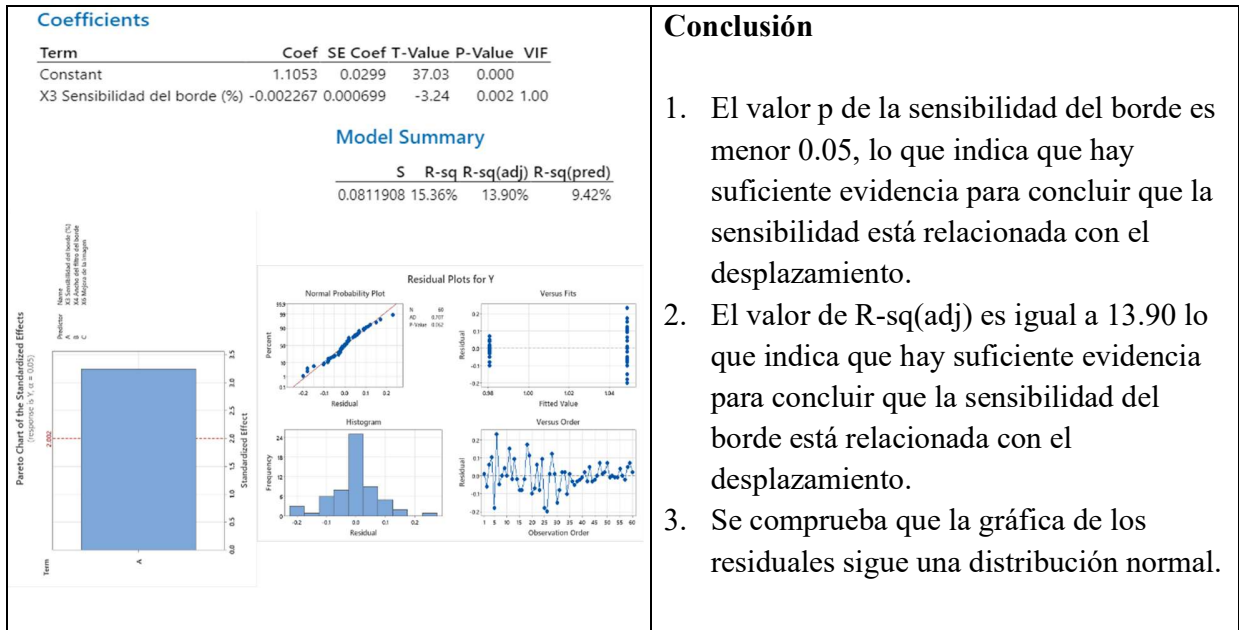


Figura 33. Análisis de Regresión de cámara Cinta Posición 2. Creación Propia

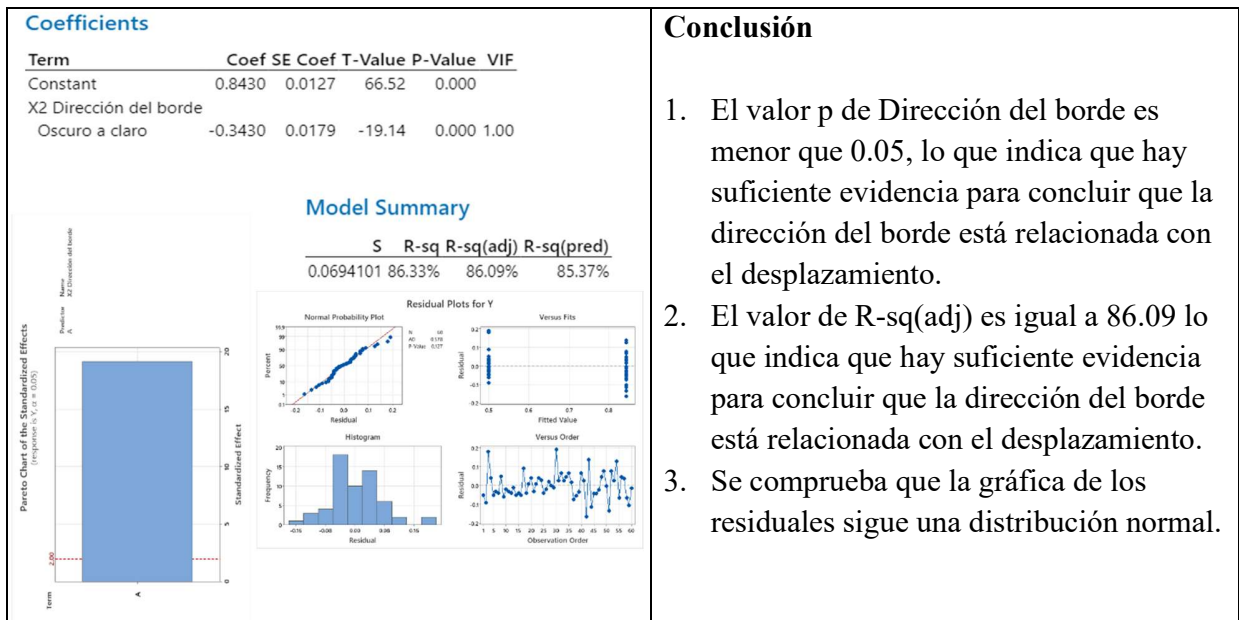
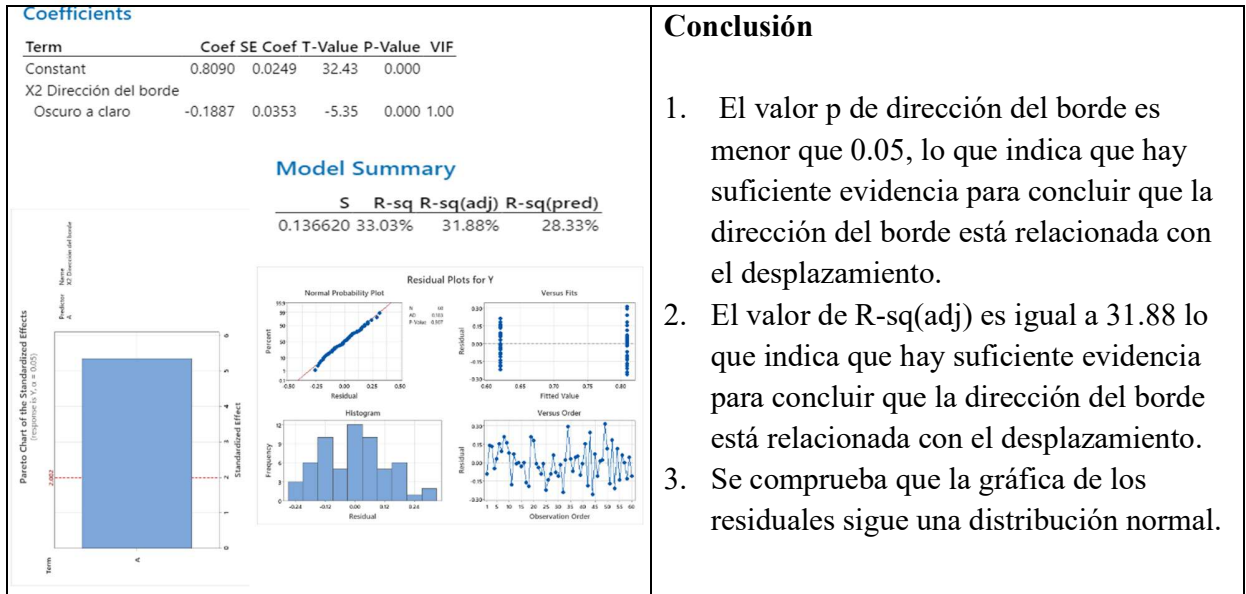


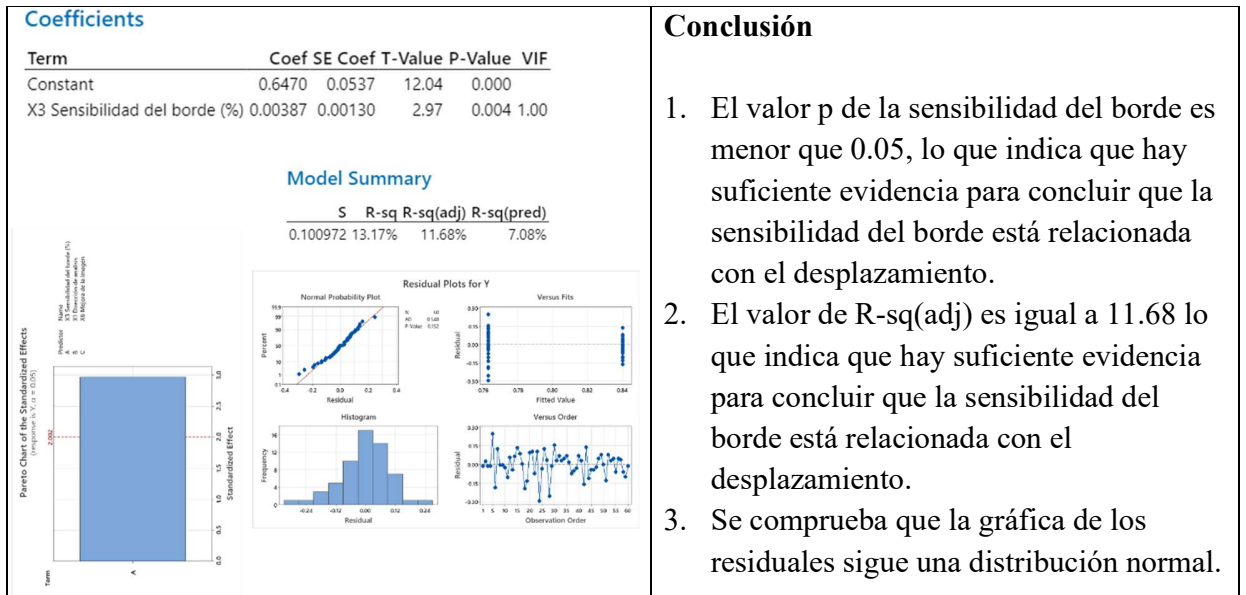
Figura 34. Análisis de Regresión de cámara Cinta Posición 3. Creación Propia



Conclusión

1. El valor p de dirección del borde es menor que 0.05, lo que indica que hay suficiente evidencia para concluir que la dirección del borde está relacionada con el desplazamiento.
2. El valor de R-sq(adj) es igual a 31.88 lo que indica que hay suficiente evidencia para concluir que la dirección del borde está relacionada con el desplazamiento.
3. Se comprueba que la gráfica de los residuales sigue una distribución normal.

Figura 35. Análisis de Regresión de cámara Cinta Posición 4. Creación Propia



Conclusión

1. El valor p de la sensibilidad del borde es menor que 0.05, lo que indica que hay suficiente evidencia para concluir que la sensibilidad del borde está relacionada con el desplazamiento.
2. El valor de R-sq(adj) es igual a 11.68 lo que indica que hay suficiente evidencia para concluir que la sensibilidad del borde está relacionada con el desplazamiento.
3. Se comprueba que la gráfica de los residuales sigue una distribución normal.

Figura 36. Análisis de Regresión de cámara Mica Posición 1. Creación Propia

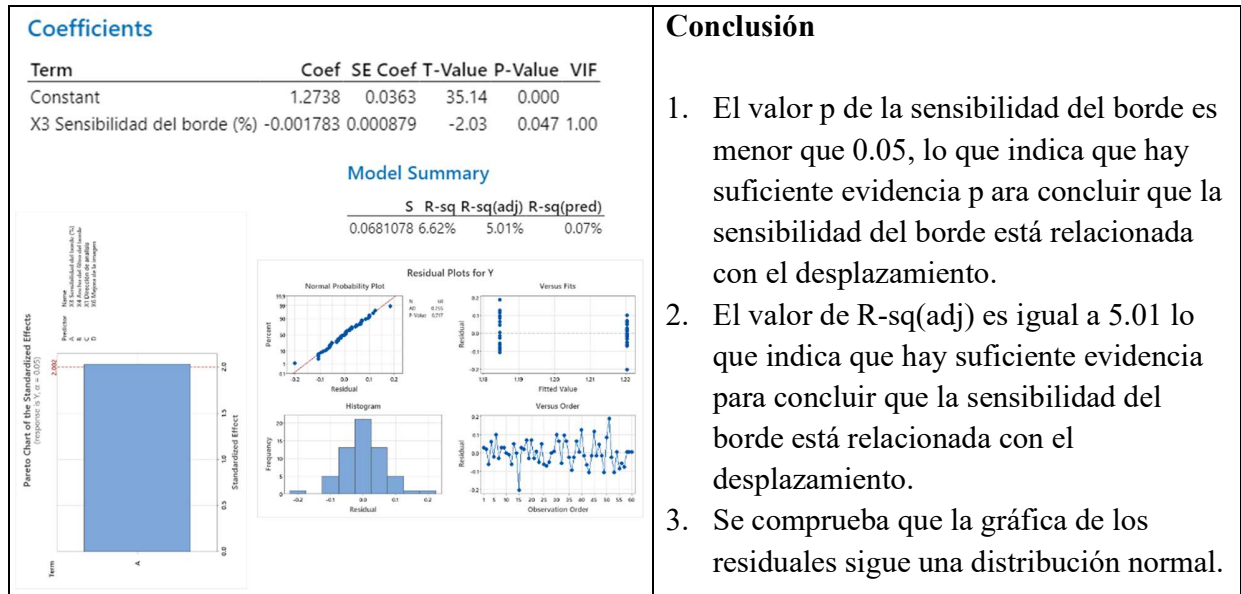


Figura 37. Análisis de Regresión de cámara Mica Posición 2. Creación Propia

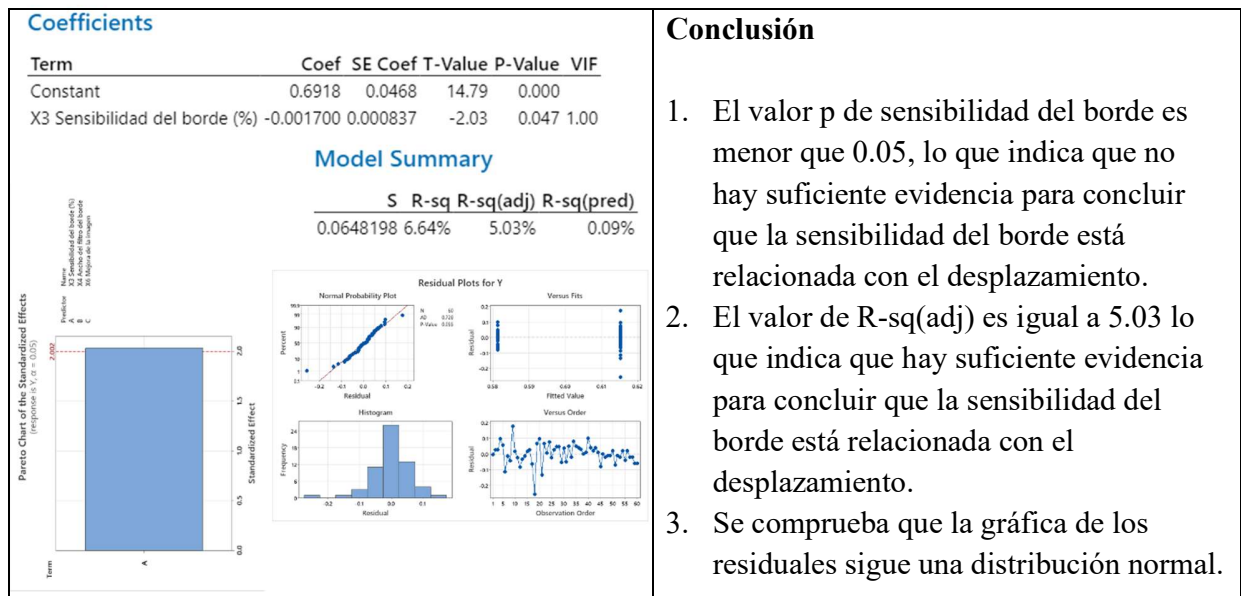


Figura 38. Análisis de Regresión de cámara Mica Posición 3. Creación Propia

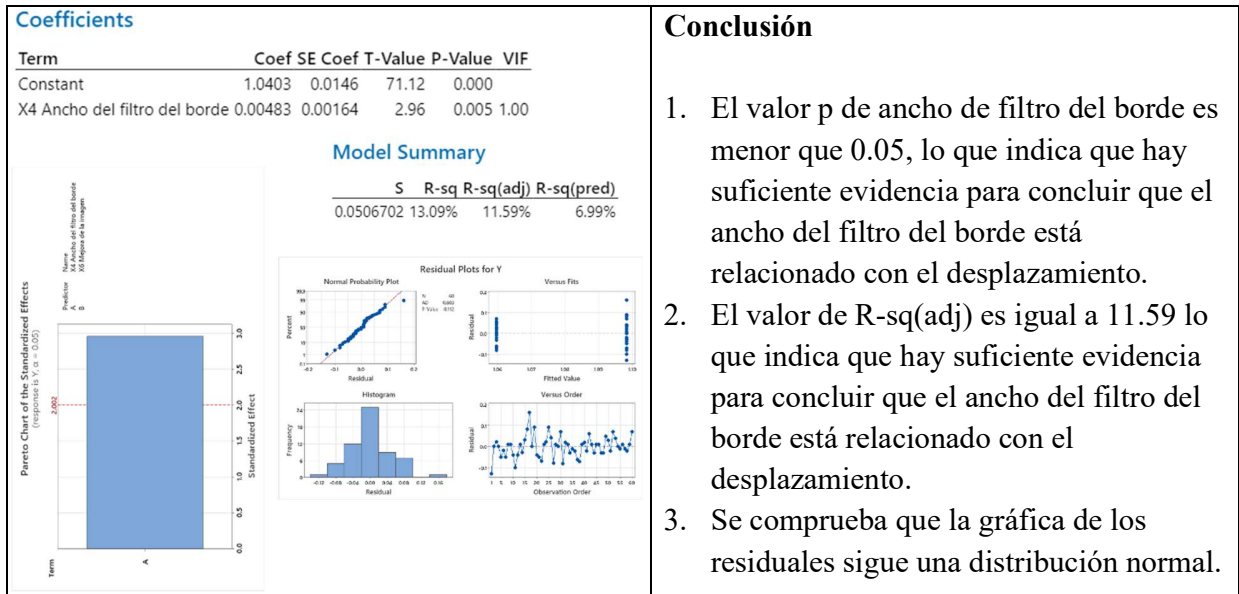
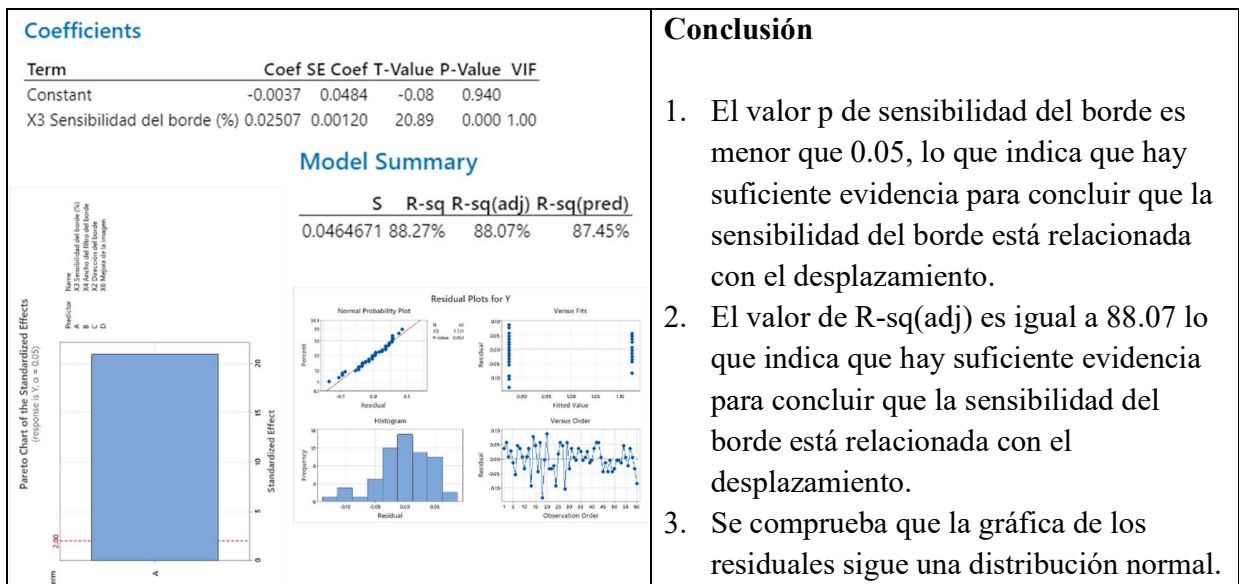


Figura 39. Análisis de Regresión de cámara Mica Posición 4. Creación Propia



Después de llevar a cabo el análisis de regresión con las variables de la cámara de inspección en las 4 posiciones de la cinta y las 4 de la mica respectivamente se confirmó que hay suficiente evidencia para concluir que las variables: X2 dirección del borde, X3 Sensibilidad del borde y X4 ancho de filtro del borde están relacionados con el desplazamiento, por lo tanto se van a utilizar estas variables para análisis de pruebas de hipótesis.

3.6. Definición de los factores prioritarios a intervenir y/o modificar en la problemática.

3.6.1. Diagrama de Ishikawa o Causa-Efecto

El principal objetivo en esta etapa de análisis es encontrar la causa raíz que causa el problema de cintas y mica desplazadas. Para lograrlo es importante que a las causas verificadas se comprueben o que se pueda replicar la falla bajo las mismas condiciones para que al implementar acciones correctivas se elimine o reduzca la falla.

Como parte del análisis para el problema de cinta y mica desplazadas se elaboró un Diagrama de Ishikawa o Diagrama causa efecto en el que se enlistan todas las posibles causas que generan el problema y se hace una verificación para cada una de ellas con el fin de aceptarlas o descartarlas, las causas aceptadas se conocen como causas verificadas en las que se indaga más a fondo para encontrar la causa raíz sistema que ocasionó la falla.

El diagrama de Ishikawa utilizado para la causa raíz de las cinta y mica desplazadas fue el del método de las 6M como se muestra en la Figura 32:

- Método de trabajo.
- Mano de obra.
- Medición.
- Material.
- Medio Ambiente.
- Maquinaria.

Figura 40. Diagrama de Ishikawa Cinta desplazada. Creación Propia



Después de hacer la verificación de las causas potenciales se concluye que los parámetros de cámara mal configurados, alineadores mecánicos sobre restringiendo la posición de la cubierta y especificación de cinta y mica muy estrechos son las causas verificadas por lo tanto se requieren acciones correctivas y preventivas para reducir o eliminar la falla.

4. Estrategia de intervención.

4.1. Justificación de la estrategia de intervención

En la etapa de mejora se proponen mejoras al proceso de pegado de cintas con base a los datos obtenidos en la etapa de análisis que se van a evaluar mediante análisis estadísticos para que las acciones de mejora propuestas tengan un impacto significativo, principalmente en la reducción del desperdicio del proceso de pegado de cinta y mica, así como la mejora del FPY.

4.1.1. Consideraciones costo/beneficio de la estrategia

En esta etapa de mejora es importante evaluar las acciones correctivas y preventivas, así como las implicaciones de la estrategia de acuerdo con criterios de impacto, tiempo y costos para así obtener una calificación total, que se obtiene de la multiplicación de los tres criterios. Entre más alto es el valor de la calificación total mayor es la priorización que se le dará a la implementación de la acción.

4.2. Herramientas e instrumentos

En la Tabla 11 se muestran las herramientas que se van a utilizar en la etapa de mejora y la descripción de su aplicación.

Tabla 11. Herramientas de fase de mejora. Creación propia

Herramienta	Aplicación
Gráfica de Gantt	Organizador gráfico que representa visualmente la duración de cada tarea o etapa del proyecto. Se utiliza para monitorear que todas las actividades se realicen a tiempo
PFMEA	Identificar y prevenir los defectos antes de que ocurran
Corridas prototipo	Confirmación de que la solución cumple con el objetivo de la mejora
Matriz de selección	Priorizar la implementación de acciones de mejora

4.3. Etapas del proceso de aplicación/intervención

El primer paso en la etapa de mejora es hacer propuestas de mejora con acciones correctivas y preventivas que nos ayuden a mitigar las debilidades encontradas en las causas raíz.

Es importante mencionar que durante la sesión de propuesta de mejora se integró a un equipo multidisciplinario conformado por las áreas de calidad, procesos, mantenimiento y diseño para obtener una evaluación de factibilidad donde se tomaron en cuenta criterios como el impacto, tiempo y costo. La ponderación se hizo de una escala del 1 al 5.

En el impacto el 5 representa el mayor impacto y 1 el menor impacto.

En tiempo el 5 representa el menor tiempo de implementación y 1 el mayor tiempo.

En costo el 5 representa el menor costo y 1 el mayor costo.

Los resultados se muestran en la Tabla 12:

Tabla 12. Priorización de implementación de acciones correctivas. Creación propia

Número	Actividad	Tipo de Acción	Impacto	Tiempo	Costo	Calificación Total
15	Ajuste de parámetros de cámara (X)	Correctiva	5	4	3	60
17	Actualización de PFMEA en el proceso de pegado de cintas	Correctiva	4	3	4	48
18	Creación de instructivo de proceso con parámetros de cámara	Preventiva	4	3	4	48
20	Actualización de dimensiones y tolerancias de cinta y mica en el dibujo de ensamble	Correctiva	4	3	4	48
23	Actualización y aprobación de AMEF genérico en base de datos de la unidad de negocio	Preventiva	4	2	3	24
19	Actualización de requerimientos y plan de validación de equipo de pegado de cintas	Preventiva	4	2	3	24
25	Actualización y aprobación de tolerancias en guías de diseño mecánico	Preventiva	4	2	3	24

4.3.1. Cronograma de trabajo

Con el objetivo de darle un seguimiento puntual y asegurar las acciones correctivas que se van a implementar para la mejora del proceso de pegado de Cintas se cumplan en tiempo y forma se utilizó el diagrama de Gantt. El diagrama de Gantt o cronograma de Gantt es una

herramienta gráfica que representa visualmente la duración de las actividades o etapas del proyecto.

Además de la visualización del avance del proyecto esta herramienta nos ayuda a administrar las personas que van a realizar la actividad, así como calcular los tiempos de ejecución de las actividades.

En la Tabla 13 y en el Diagrama 41 se muestra el estatus de las actividades a inicios del segundo cuarto de (Q2) de 2025.

Tabla 13. Cronograma de actividades. Creación propia

Número	Actividad	Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de fin	Estatus
15	Ajuste de parámetros de cámara (X)	F. Raymundo	12/02/2025	14/02/2025	Completado
16	Corridas prototipo	F.Raymundo E.Romero	24/02/2025	28/02/2025	Completado
17	Actualización de PFMEA en el proceso de pegado de cintas	N. Gómez	17/03/2025	04/04/2025	Completado
18	Creación de instructivo de proceso con parámetros de cámara	F. Raymundo	31/03/2025	09/05/2025	Completado
19	Actualización de requerimientos y plan de validación de equipo de pegado de cintas	N.Gómez E.Romero	31/03/2025	09/05/2025	Completado
20	Actualización de dimensiones y tolerancias de cinta y mica en el dibujo de ensamble	R. Arriola	17/03/2025	04/04/2025	Completado
22	Validación de efectividad de ajuste de parámetros de cámara	Fernanda Raymundo E.Romero	03/03/2025	07/03/2025	Completado

23	Actualización y aprobación de AMEF genérico en base de datos de la unidad de negocio	N.Gómez E.Romero	15/04/2025	25/06/2025	En progreso
24	Aprobación de plan de validación de equipo de pegado de cintas en base de datos de la unidad de negocio	N.Gómez E.Romero	15/04/2025	15/05/2025	Completado
25	Actualización y aprobación de tolerancias en guías de diseño mecánico	R. Arriola	30/04/2025	30/07/2025	En progreso

Figura 41. Diagrama de Gantt acciones correctivas. Creación Propia

Número	Actividad	Duración	Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				
			S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26
15	Ajuste de parámetros de cámara (X)	3 días	█																				
16	Corridas prototipo	5 días			█																		
22	Validación de efectividad de ajuste de parámetros de cámara	5 días				█																	
17	Actualización de PFMEA en el proceso de pegado de cintas	18 días					█	█	█														
20	Actualización de dimensiones y tolerancias de cinta y mica en el dibujo de ensamble	18 días					█	█	█														
18	Creación de instructivo de proceso con parámetros de cámara	40 días								█	█	█	█	█	█								
19	Actualización de requerimientos y plan de validación de equipo de pegado de cintas	40 días								█	█	█	█	█	█								
23	Actualización y aprobación de AMEF genérico en base de datos de la unidad de negocio	30 días																		█	█	█	█
24	Aprobación de plan de validación de equipo de pegado de cintas en base de datos de la unidad de negocio	30 días														█	█	█	█	█			
25	Actualización y aprobación de tolerancias en guías de diseño mecánico	30 días																			█	█	█

4.3.2. AMEF

El análisis de modo y efectos de falla es un método y una forma de identificación de errores o problemas potenciales y sus posibles efectos en un sistema antes de que ocurran, ya que nos ayuda a priorizar los riesgos y concentrar recursos para su mitigación. Este método nació

a finales de los años 1940 y fue la empresa Ford la primera en implementarlo en la industria automotriz en la década de 1970.

Durante la evaluación e implementación de las acciones correctivas las soluciones también conllevan riesgos que pueden afectar el rendimiento del proceso o la calidad del producto. Es por ello por lo que el AMEF es una herramienta que se recomienda utilizar en esta etapa de mejora, ya que nos ayuda a evaluar tanto los riesgos de las soluciones propuestas como los riesgos de la implementación de las acciones correctivas.

Con el uso sistémico del AMEF se garantiza que tanto los costos, la duración y el resultado del proyecto son factibles y están alineados con los objetivos del proyecto.

Los principales beneficios del AMEF son:

1. Mejora la calidad y confiabilidad de los procesos y productos.
2. Documenta las medidas de reducción de riesgos.
3. Reduce los costos de los procesos y productos.

Para este proyecto de mejora se va a usar el AMEF de proceso que se enfoca en los procesos de fabricación y montaje.

En la Tabla 14 se muestra un extracto del AMEF del proceso de pegado de cintas y micas en que se actualizaron las acciones preventivas y de detección para el modo de falla parámetros de cámara fuera de límites de proceso, así como la actualización de los valores de las RPN o

números de prioridad de riesgos. Además, se agregó una acción recomendada para ayudar a mitigar aún más la falla de cinta y mica desplazada, esta acción consiste en crear un patrón de verificación que se pruebe a inicios de turno para confirmar que el equipo esté midiendo de acuerdo con los límites de proceso.

También se actualizaron y agregaron nuevos modos de falla con el objetivo de detectar las causas antes de que ocurra el defecto y que su vez se prevenga el error antes que tenga un efecto negativo en el producto o en el proceso.

Tabla 14. AMEF Proceso de pegado de cintas. Creación propia

Función	Falla potencial	Efecto potencial de la falla	S	Causa Potencial de la falla	Acción Preventiva	O	Acción de Detección	D	RPN	Acción recomendada	S	O	D	RPN		
Cubierta, cinta y mica ensamblados de acuerdo a dibujo de ensamble	Cubierta fuera de especificación	Problema de ensamble con carcasa	6	Cubierta mal colocada en el herramental	Plantilla de colocación	3	Sensor de presencia de componente	3	54							
					Instructivo de trabajo											
			6	Cubierta con número de parte diferente al BOM	Plantilla de colocación	3	Sensor de presencia de componente	2	36							
					Hoja de ensamble		Sistema de trazabilidad									
			7	Cinta fuera de especificación	Imagen distorsionada	7	Cinta mal colocada en el herramental	Plantilla de colocación	3	Sensor de presencia de componente	3	63				
								Instructivo de trabajo								
	7	Cinta con número de parte diferente al BOM				Plantilla de colocación	3	Sensor de presencia de componente	2	42						
						Hoja de ensamble		Sistema de trazabilidad								
	7	Parámetros de cámara fuera de límites de proceso	Instructivo de proceso	4	Sistema de control de parámetros de procesos	3	84	Crear muestran patrón de inspección para verificación a inicios de turno	7	4	2	56				
	7	Mica fuera de especificación	Imagen distorsionada	7	Mica mal colocada en el herramental	Plantilla de colocación	3	Sensor de presencia de componente	3	63						
						Instructivo de trabajo										
				7	Mica con número de parte diferente al BOM	Plantilla de colocación	3	Sensor de presencia de componente	2	42						
						Hoja de ensamble		Sistema de trazabilidad								
				7	Parámetros de cámara fuera de límites de proceso	Instructivo de proceso	4	Sistema de control de parámetros de procesos	3	84	Crear muestran patrón de inspección para verificación a inicios de turno	7	4	2	56	

4.3.3. Pruebas piloto

Las pruebas piloto nos sirven para simular en pequeña escala el impacto y efectos en tiempo y costo para que la implementación de las acciones correctivas a gran escala o escenarios reales sea más efectiva

Los beneficios de las corridas piloto son:

1. Confirmación de que la solución cumple con el objetivo de la mejora.
2. Comprender los efectos de la solución y planificación de implementación a gran escala.
3. Reducción del riesgo.

La prueba de hipótesis nos ayuda determinar si los cambios en las entradas del proceso (X) generan cambios o mejoras en las salidas (Y).

Se aplicó una prueba de hipótesis con 30 muestras, en la que se modificaron los valores de algunas de las entradas del proceso haciendo una comparación del antes y después de la implementación para confirmar si hubo cambios o mejoras en la posición de la cinta y la mica. Los resultados de las pruebas de hipótesis se muestran en las Figuras 42 a 49:

Figura 42. Prueba de hipótesis variables de cámara Cinta Posición 1. Creación Propia

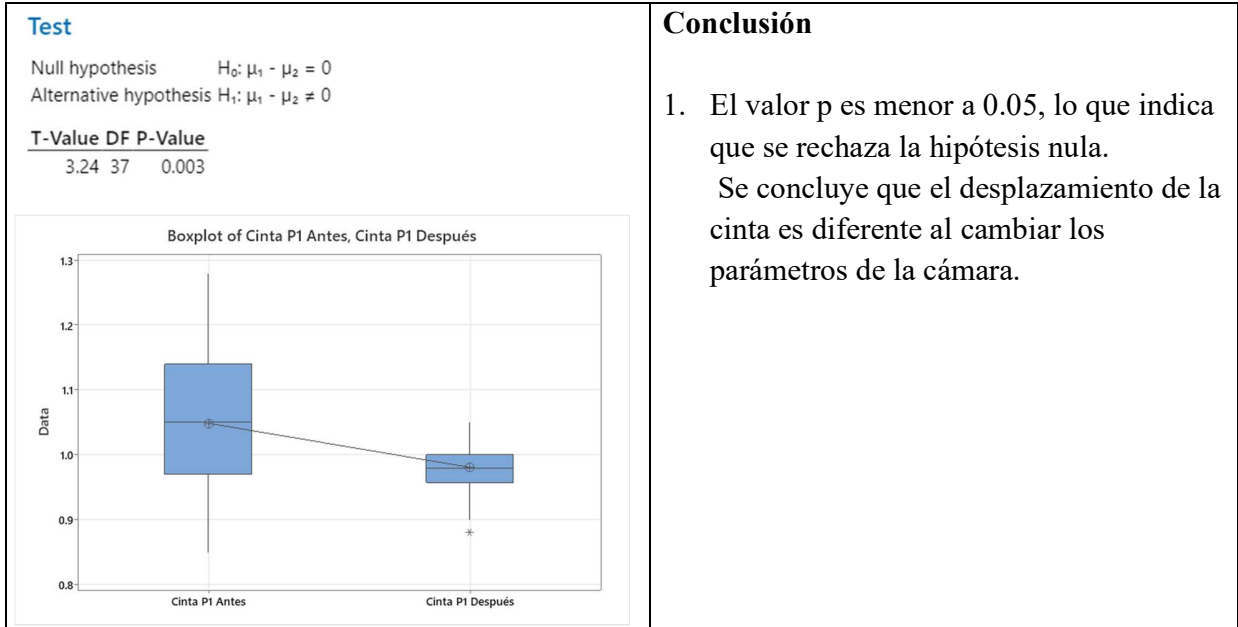


Figura 43. Prueba de hipótesis variables de cámara Cinta Posición 2. Creación Propia

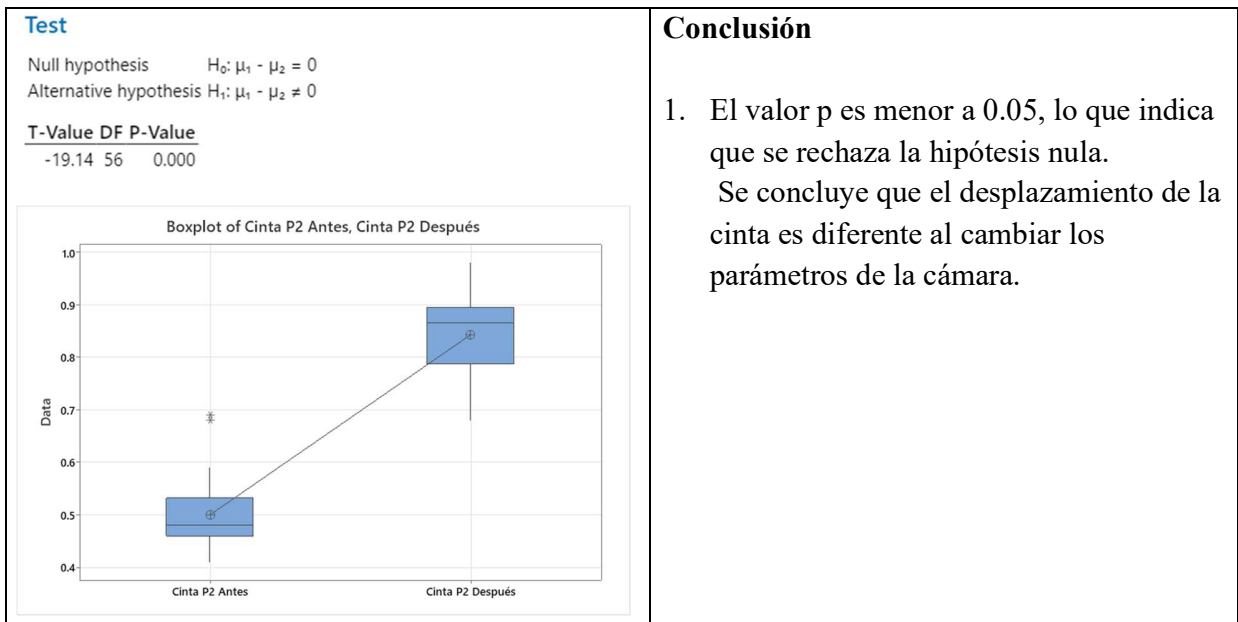
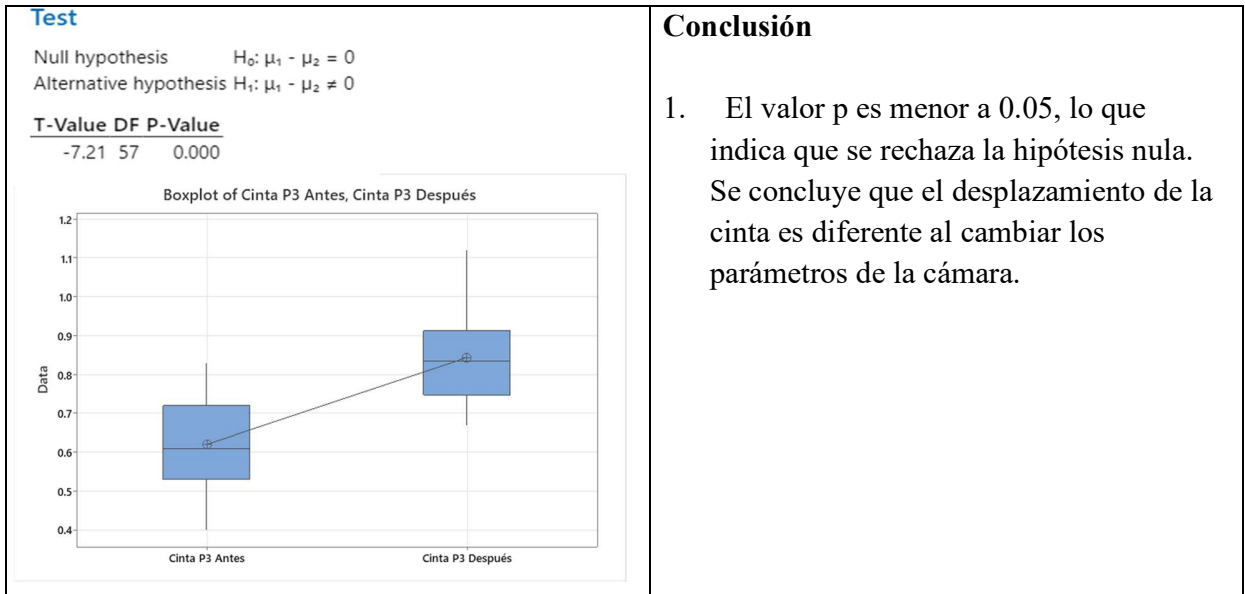


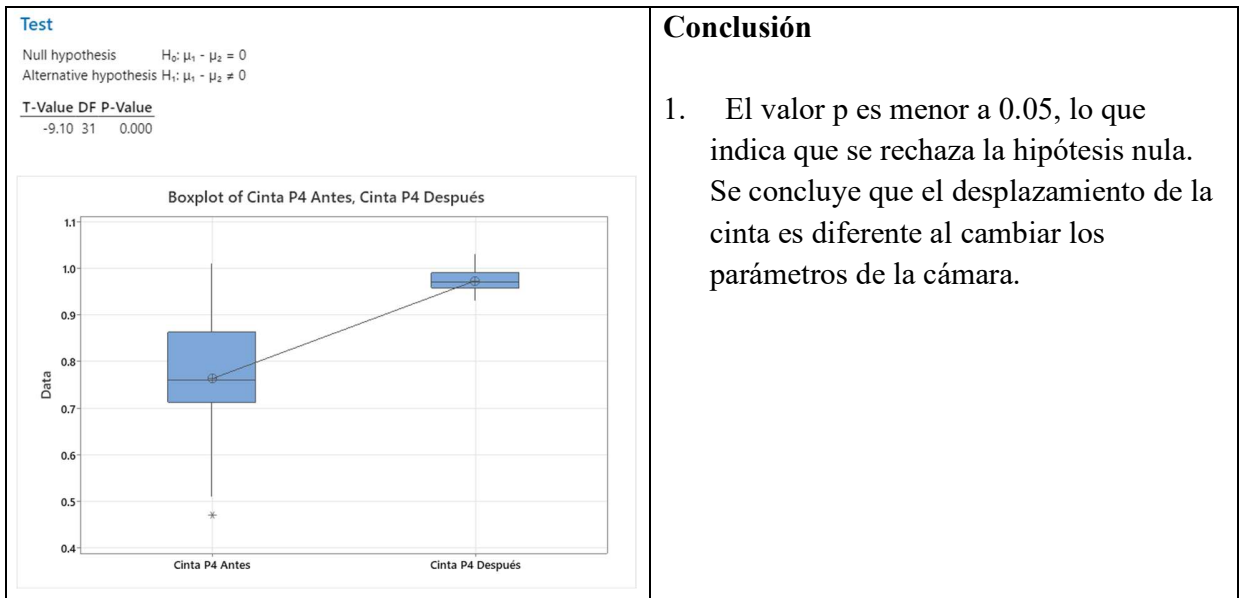
Figura 44. Prueba de hipótesis variables de cámara Cinta Posición 3. Creación Propia



Conclusión

1. El valor p es menor a 0.05, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula. Se concluye que el desplazamiento de la cinta es diferente al cambiar los parámetros de la cámara.

Figura 45. Prueba de hipótesis variables de cámara Cinta Posición 4. Creación Propia



Conclusión

1. El valor p es menor a 0.05, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula. Se concluye que el desplazamiento de la cinta es diferente al cambiar los parámetros de la cámara.

Figura 46. Prueba de hipótesis variables de cámara Mica Posición 1. Creación Propia

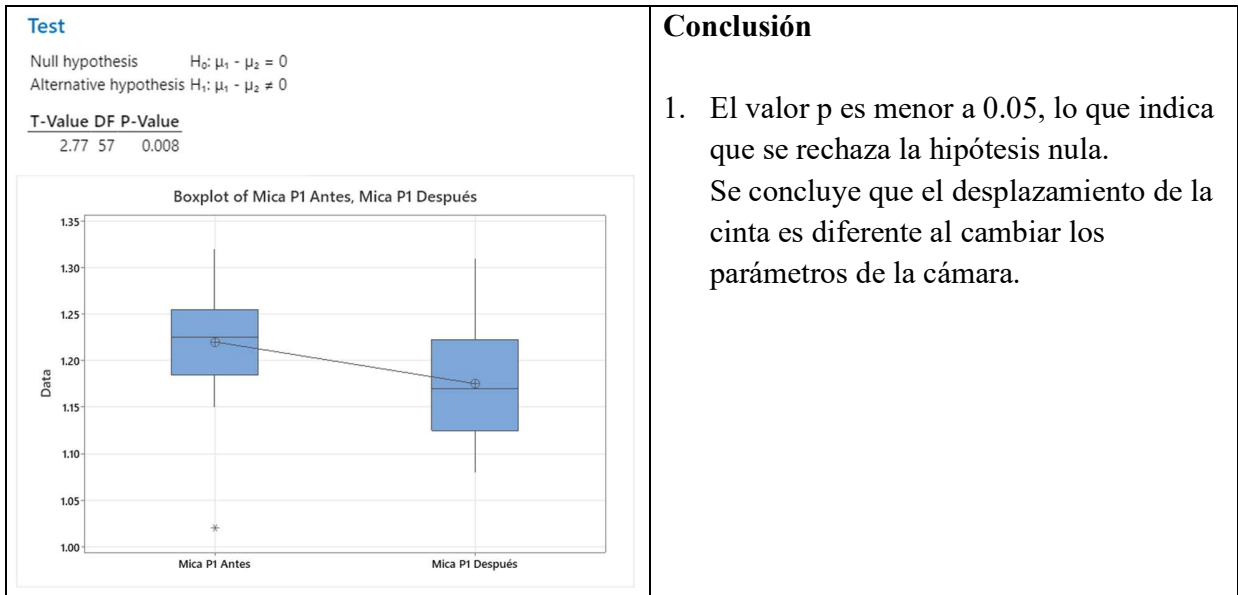


Figura 47. Prueba de hipótesis variables de cámara Mica Posición 2. Creación Propia

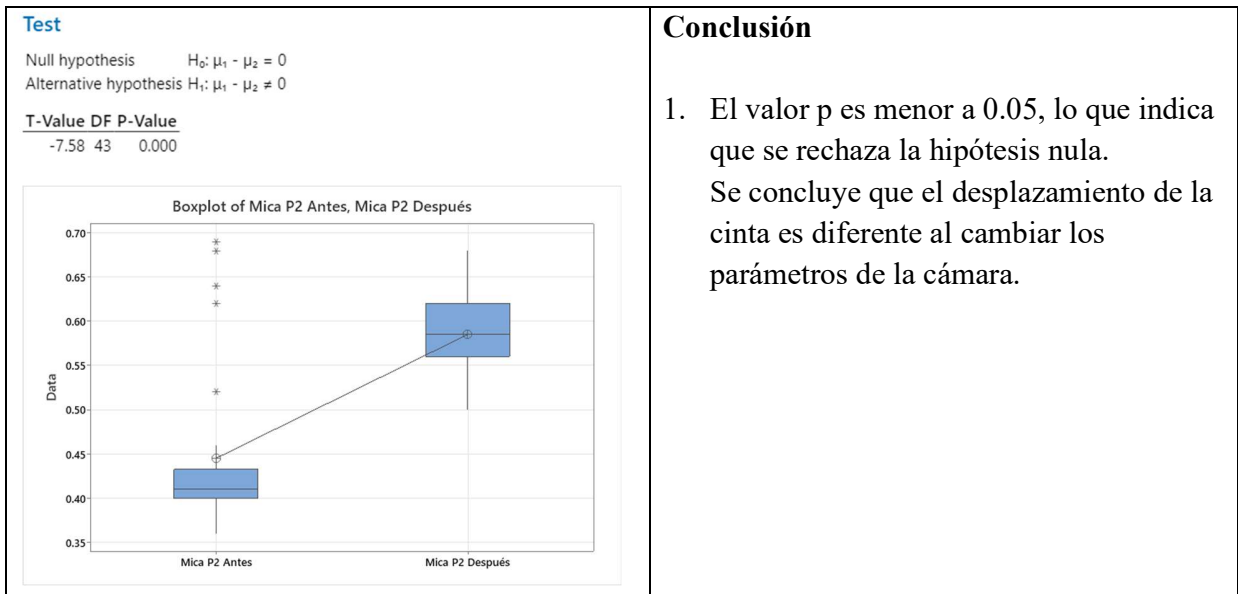
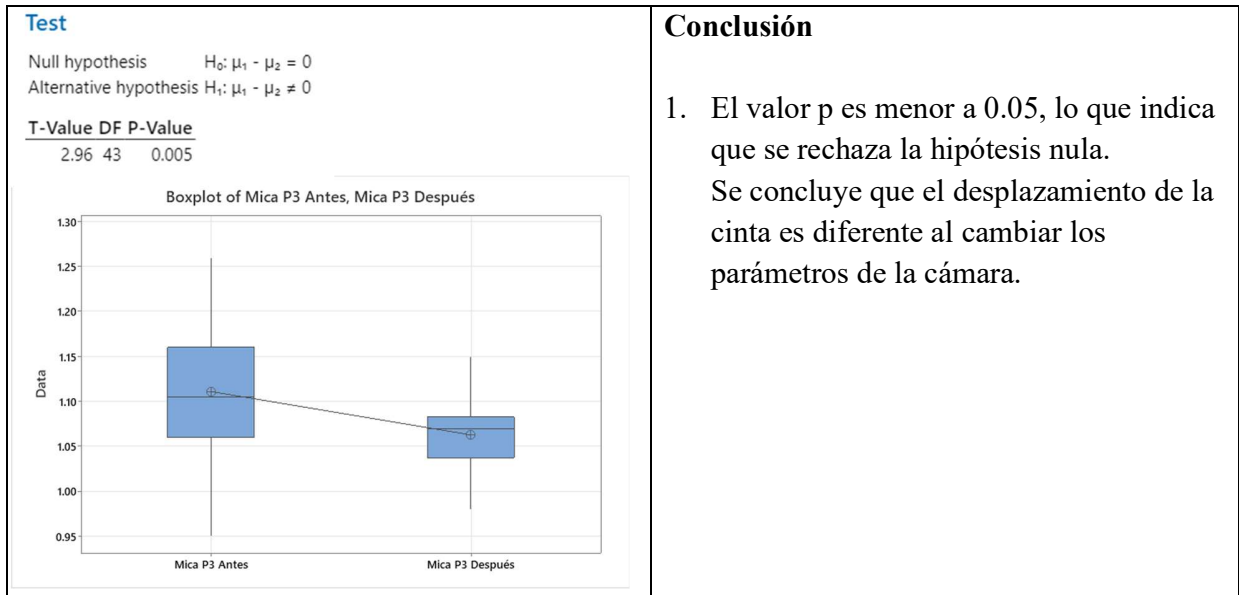


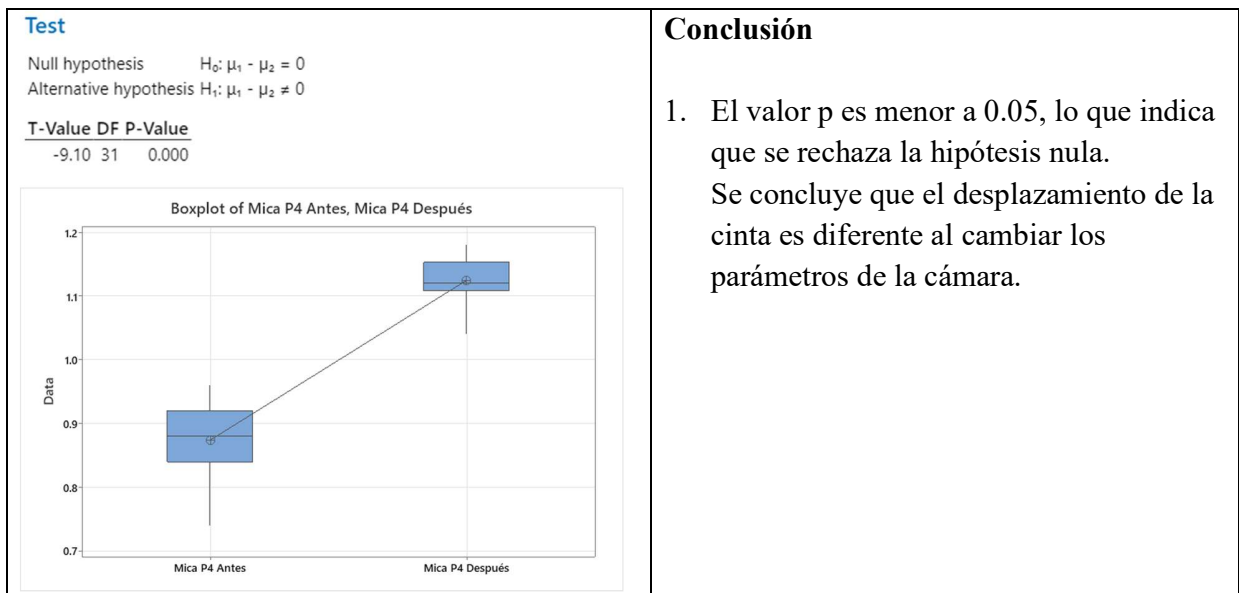
Figura 48. Prueba de hipótesis variables de cámara Mica Posición 3. Creación Propia



Conclusión

1. El valor p es menor a 0.05, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula. Se concluye que el desplazamiento de la cinta es diferente al cambiar los parámetros de la cámara.

Figura 49. Prueba de hipótesis variables de cámara Mica Posición 4. Creación Propia



Conclusión

1. El valor p es menor a 0.05, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula. Se concluye que el desplazamiento de la cinta es diferente al cambiar los parámetros de la cámara.

4.3.4. Imprevistos

La máquina del proceso del pegado de cintas y de la mica se comparte con cuatro proyectos del mismo cliente, pero cada uno cuenta con herramientas (superior e inferior) independientes que se tienen que cambiar de acuerdo con el plan de producción semanal que controla el departamento de control de producción.

A pesar de que se tiene una planeación semanal de la producción de acuerdo con EDI o plan de producción de los clientes, suele haber imprevistos y cambios en los días y horarios debido a factores internos y externos como pueden ser: falta de material, fallas de los equipos, prioridad a otro modelo del mismo cliente, fallas de calidad en el material. Todos estos factores repercuten en el análisis de esta falla y en la implementación de las acciones correctivas y preventivas, ya que el tiempo disponible de la máquina se reduce.

5. Exposición de hallazgos

En este capítulo se documenta la etapa de control del DMAIC. Esta última etapa es importante, ya que nos ayuda a mantener las mejoras logradas.

Se recomienda utilizar los gráficos de control para observar las variaciones del proceso y asegurar que las entradas clave y las salidas del proceso se mantengan en los niveles esperados.

5.1. Sistematización y aplicación de escalas de medición de resultados

Para evitar recurrencias o que el modo de falla de cintas y micas desplazadas afecte a otros proyectos es importante la implementación y despliegue de las acciones preventivas, ya que nos ayudan a corregir el problema de manera sistémica de manera que los proyectos que ya están produciendo en serie y los nuevos proyectos que se van a desarrollar implementen el conocimiento adquirido previamente para que puedan prevenir el mismo modo de falla.

Los documentos sistémicos actualizados son los siguientes:

- **Instructivo de proceso.** Este instructivo se agregan los parámetros relevantes del equipo de pegado de cintas y de la cámara de inspección. Uno de los propósitos es la estandarización ya que asegura que los ingenieros de procesos o técnicos de mantenimiento sigan los mismos pasos y utilicen los parámetros y rangos definidos para así garantizar que las especificaciones técnicas del producto se cumpla.



- **AMEF genérico.** Este documento es la base o plantilla de AMEF de proceso que se utiliza cuando se introduce un nuevo proyecto por lo tanto es importante que los modos y efectos de falla, así como los números de prioridad del riesgo (RPN) estén actualizados para que estos nuevos proyectos eviten tener las mismas fallas causadas por cinta y mica desplazadas y así durante el desarrollo de la maquina puedan implementar medidas preventivas.
- **Plan de validación de equipos.** Este documento sistémico es la plantilla de requerimientos críticos o relevantes de cada proceso y máquina de ensamble o inspección. Es importante su actualización para que los nuevos proyectos al momento de liberar nuevas estaciones de trabajo tengan considerado los nuevos requerimientos críticos y se prevengan los modos de falla causados por cinta y mica desplazadas.
- **Guías de diseño mecánico.** En este documento se enlistan las normas y requerimientos que se tienen que seguir al momento de crear un nuevo dibujo de ensamble por lo que una vez actualizadas las nuevas tolerancias ayudará de manera sistémica a que cuando se desarrolle un nuevo dibujo mecánico se asegure que cumple con los valores nominales y tolerancias de acuerdo con el estándar.

5.1.1.1. Poka Yoke

Termino japonés que significa “a prueba de errores”. Un dispositivo poka yoke impide que los errores humanos sucedan y afecten una maquina o proceso y que los errores se conviertan en defectos.

Para asegurar el control y estabilidad en el proceso de pegado de cinta y mica se sugiere la implementación de un poka yoke en el software o programa donde se definen los parámetros relevantes de la cámara de visión y sus tolerancias de manera que al hacer una intervención el área de procesos o mantenimiento solo el personal autorizado pueda ajustar los parámetros por lo tanto es necesario la implementación de un sistema de identificación de usuario con contraseña.

Además, para asegurar que los ajustes de parámetros de procesos se hagan dentro de los límites establecidos se requiere la implementación de un software que bloquee el sistema y que no permita al técnico o ingeniero de mantenimiento definir valores fuera de parámetros, desplegando de forma visual un mensaje de alerta y le muestre los rangos permitidos de ajuste para cumplir con los límites establecidos.

La implementación de este poka yoke está bajo análisis ya que se está revisando la factibilidad y compatibilidad con el software actual del equipo.

5.2. Organización de la información obtenida.

Como se definió en el capítulo 1.5.2 del Diagrama CTQ, la colocación de la cinta y de la mica son críticos para la calidad en el proceso del pegado de cintas, ya que al lograr una métrica de Cpk mayor o igual a 1.33 satisfacemos el requerimiento de nuestro cliente interno al tener un producto que cumple con los requerimientos de ensamble definidos por la organización.

Para confirmar la mejora en la métrica del Cpk se hizo un análisis de capacidad el proceso en cada una de las posiciones de la cinta y de la mica respectivamente además de gráficos de control para observar las variaciones del proceso y asegurar que las entradas clave y las salidas del proceso se mantengan a en los niveles esperados.

Los resultados se muestran en las Figuras 50 a 57.

Figura 50. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 1. Creación Propia

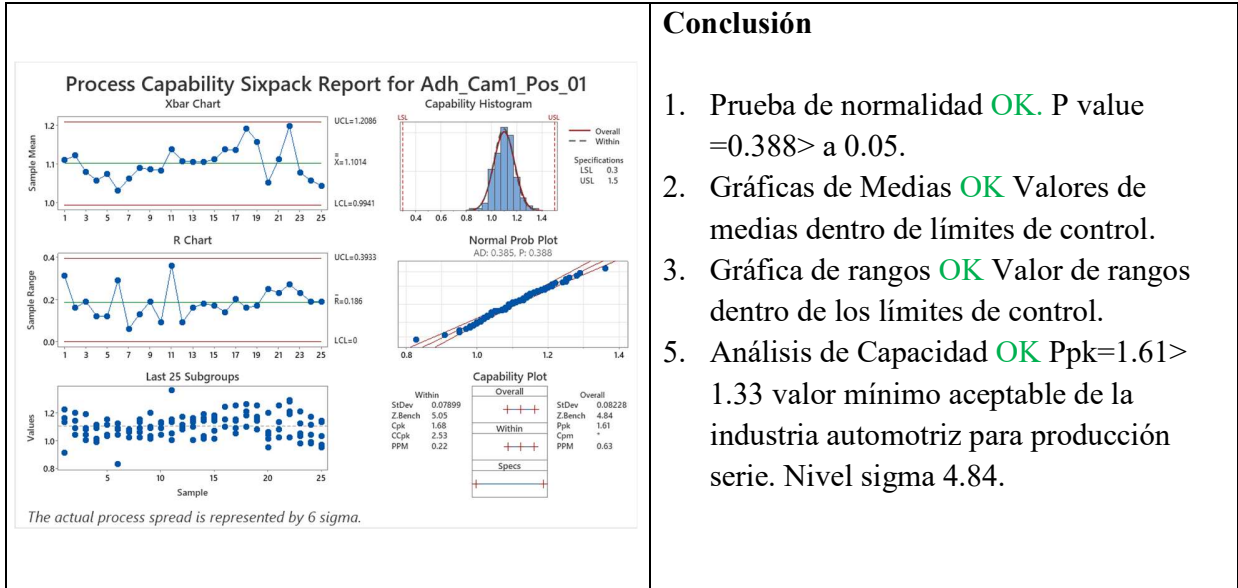


Figura 51. Análisis de Capacidad de cinta Posición 2. Creación Propia

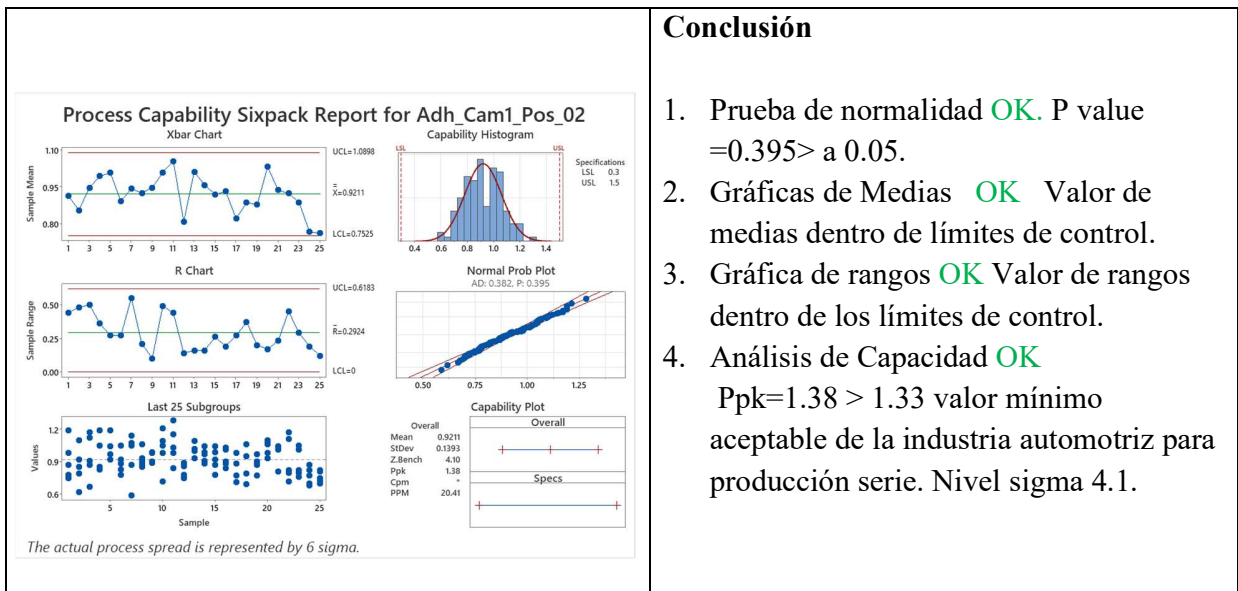


Figura 52. Análisis de Capacidad de Cinta Posición 3. Creación Propia

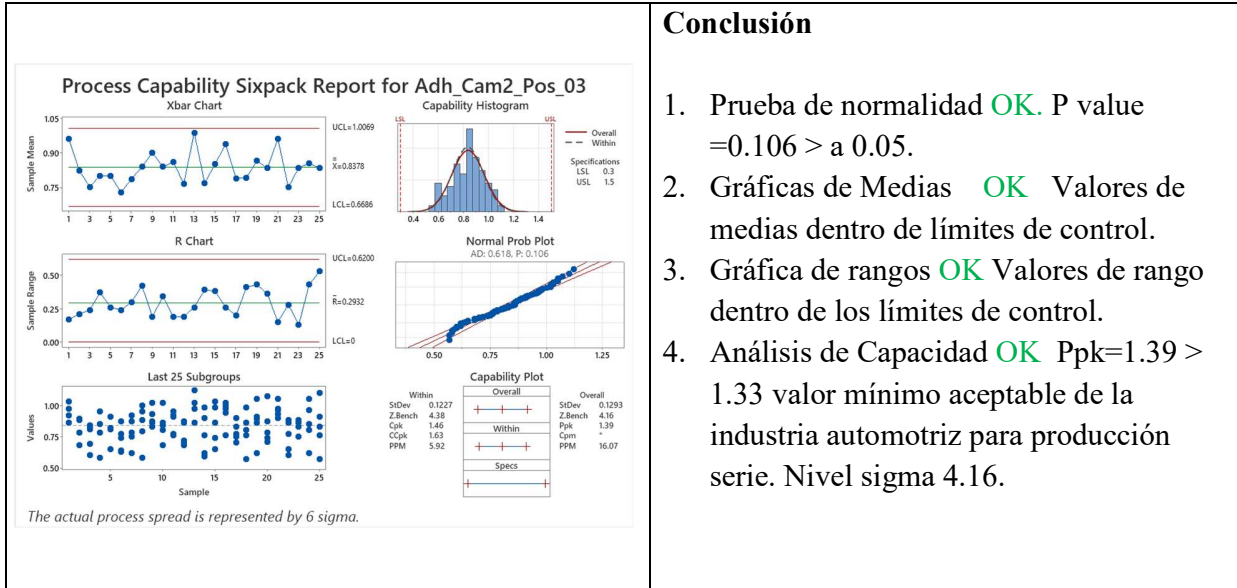


Figura 53. Análisis de Capacidad de cinta Posición 4. Creación Propia

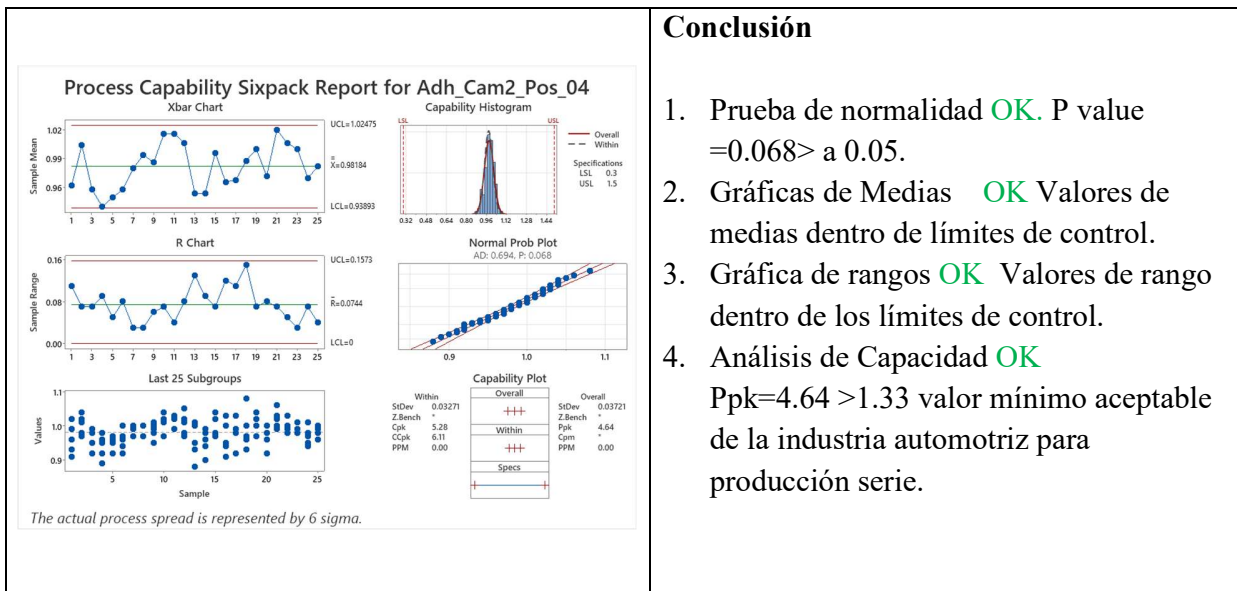
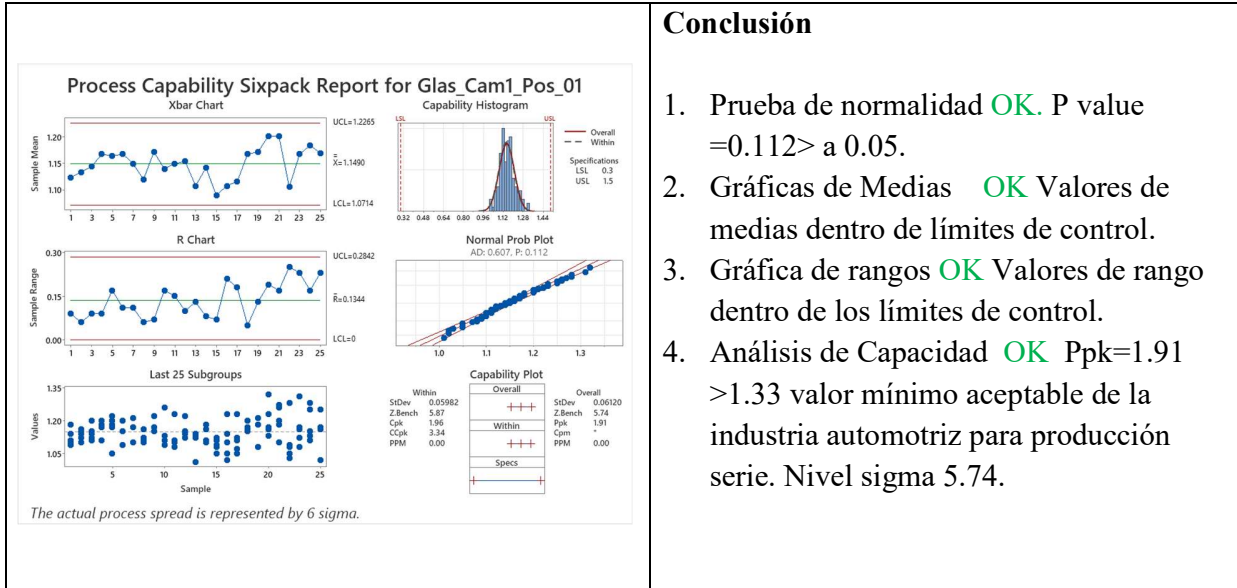


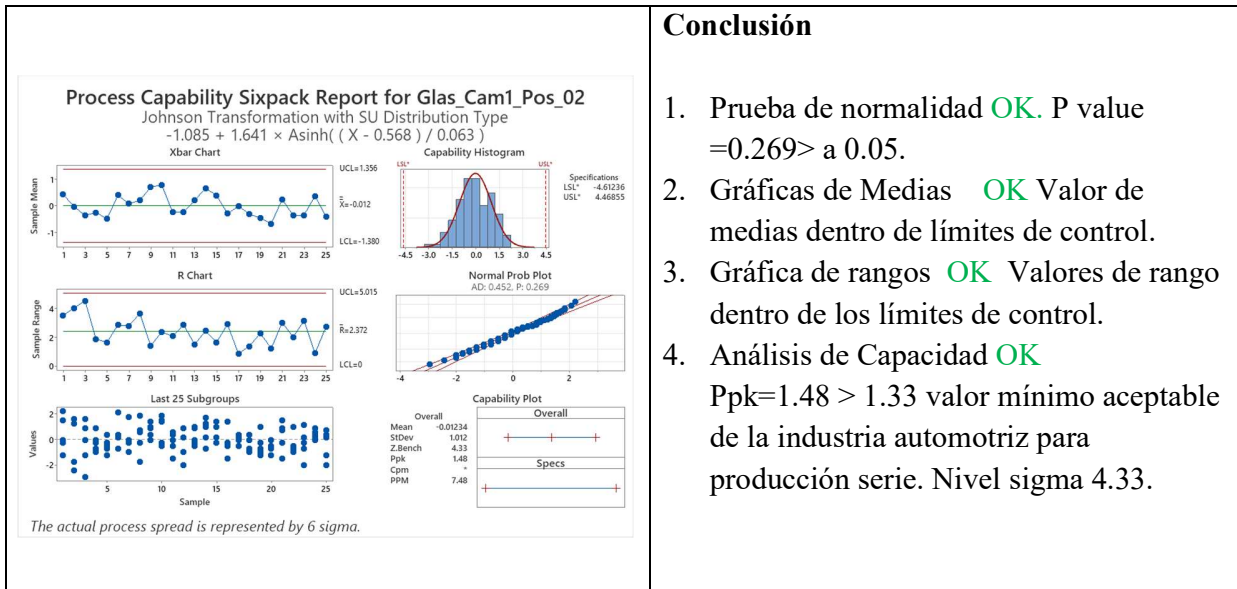
Figura 54. Análisis de Capacidad de Mica Posición 1. Creación Propia



Conclusión

1. Prueba de normalidad **OK**. P value = 0.112 > a 0.05.
2. Gráficas de Medias **OK** Valores de medias dentro de límites de control.
3. Gráfica de rangos **OK** Valores de rango dentro de los límites de control.
4. Análisis de Capacidad **OK** Ppk=1.91 > 1.33 valor mínimo aceptable de la industria automotriz para producción serie. Nivel sigma 5.74.

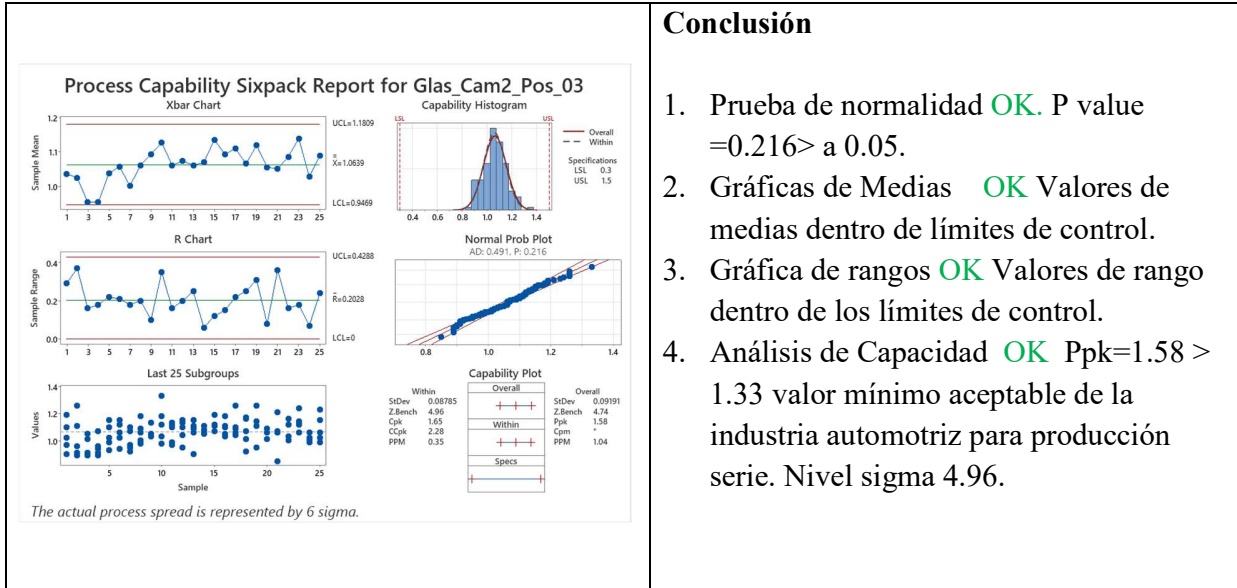
Figura 55. Análisis de Capacidad de Mica Posición 2. Creación Propia



Conclusión

1. Prueba de normalidad **OK**. P value = 0.269 > a 0.05.
2. Gráficas de Medias **OK** Valor de medias dentro de límites de control.
3. Gráfica de rangos **OK** Valores de rango dentro de los límites de control.
4. Análisis de Capacidad **OK** Ppk=1.48 > 1.33 valor mínimo aceptable de la industria automotriz para producción serie. Nivel sigma 4.33.

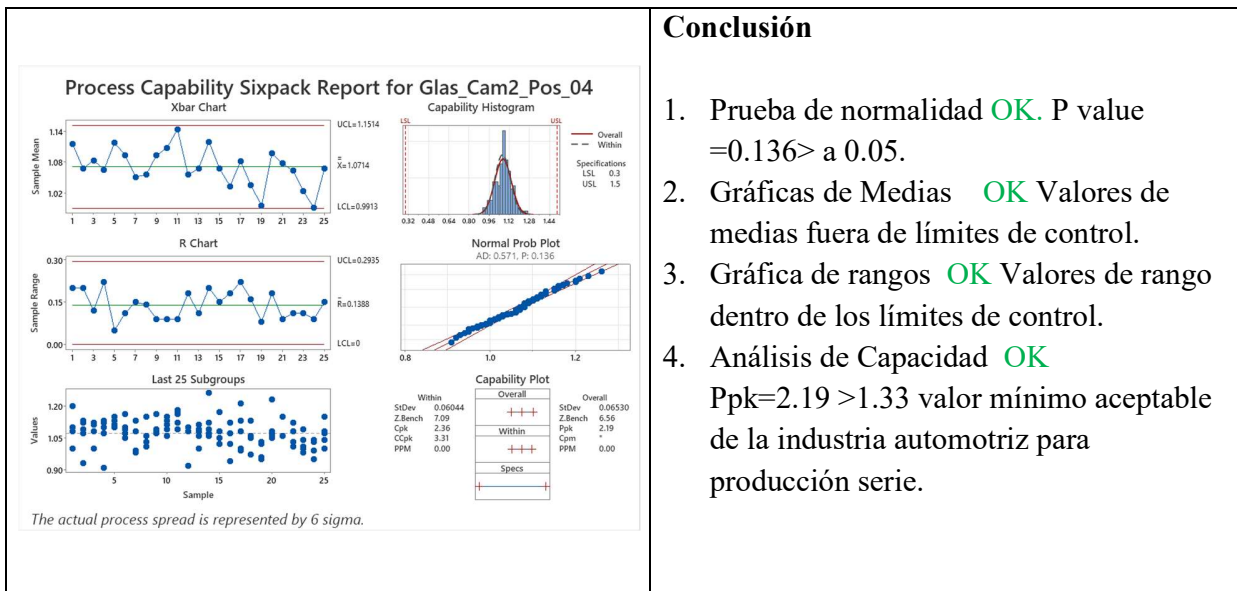
Figura 56. Análisis de Capacidad de Mica Posición 3. Creación Propia



Conclusión

1. Prueba de normalidad **OK**. P value =0.216 > a 0.05.
2. Gráficas de Medias **OK** Valores de medias dentro de límites de control.
3. Gráfica de rangos **OK** Valores de rango dentro de los límites de control.
4. Análisis de Capacidad **OK** Ppk=1.58 > 1.33 valor mínimo aceptable de la industria automotriz para producción serie. Nivel sigma 4.96.

Figura 57. Análisis de Capacidad de Mica Posición 4. Creación Propia



Conclusión

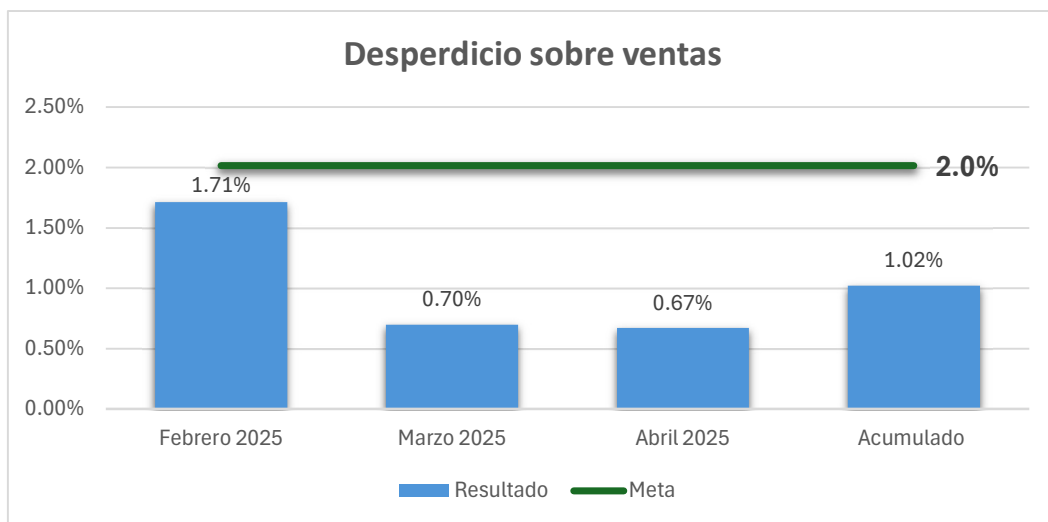
1. Prueba de normalidad **OK**. P value =0.136 > a 0.05.
2. Gráficas de Medias **OK** Valores de medias fuera de límites de control.
3. Gráfica de rangos **OK** Valores de rango dentro de los límites de control.
4. Análisis de Capacidad **OK** Ppk=2.19 > 1.33 valor mínimo aceptable de la industria automotriz para producción serie.

5.3. Impacto de la estrategia en la organización

En la etapa de control es fundamental hacer la validación del cumplimiento del objetivo planteado en el capítulo 1.6 de este documento donde se describe lo siguiente: “Reducir el porcentaje de desperdicio o costo de no conformidad sobre las ventas al 2% en el proceso de pegado de cintas para los modos de falla de cinta y mica desplazados”.

Cuando se inició este proyecto de mejora el porcentaje de desperdicio sobre ventas era de 3.05% y después de su ejecución se pudo reducir este KPI a 1.02% acumulado en 3 meses que es menor a la meta de 2% establecida por la organización. Los resultados se muestran en la Gráfica 5.

Gráfica 5. Desperdicio sobre ventas después de las mejoras. Creación Propia



6. Discusión final

6.1. Consecuencias de la aplicación de la estrategia

La ejecución de un DMAIC en una empresa del ramo automotriz hizo que desarrollara habilidades de solución estructurada de problemas que mediante el uso y aplicación de modelos estadísticos me ayudaron a tomar decisiones fundamentas en datos. Además, desarrollé mi liderazgo para guiar y convencer al equipo de ingenieros involucrados que la implementación de análisis estadísticos durante la intervención del proyecto nos ayudaría a lograr los objetivos planteados al inicio a pesar de la renuencia al cambio que se presentaba principalmente en la etapa de definición y medición. Otro aspecto importante para resaltar es la colaboración y trabajo en equipo, ya que para que las actividades se completaran de manera exitosa requerían el involucramiento y trabajo en conjunto de áreas de procesos, mantenimiento calidad y pruebas.

Este trabajo en conjunto hizo que el proyecto de manufactura y la organización logaran reducir el porcentaje de desperdicio contra ventas en el proceso del pegado de cintas.

6.2. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes

El ejecutar el proyecto de mejora en una línea de producción del ramo automotriz implica muchos desafíos y limitantes que hacen que el proyecto no avance como se tiene planeado.

La primera limitante a la que nos enfrentamos fue la poca disponibilidad de la máquina de ensamble para ejecutar pruebas y análisis estadísticos como fue el análisis del Sistema de

Medición (MSA), la comprobación de la mejora con las pruebas piloto, ya que la máquina se comparte con otros 3 proyectos y debido a prioridades de otro proyecto, falta de material, fallas de los equipos y fallas de calidad en el material el tiempo de intervención es limitado.

La segunda limitante fue la falta de conocimiento y estándares en procesos de pegado, ya que debido al tipo de tecnología y ser pioneros en este proceso; las cotas y tolerancias eran demasiado estrictas y las referencias de medición no eran claras, lo que hacía que la implementación y ajuste parámetros en la cámara de inspección en línea de producción fuera más compleja.

Como tercer y última limitante a la que nos enfrentamos fue la poca disponibilidad de los ingenieros involucrados en proyecto debido a su carga laboral, ya que están a cargo de diferentes procesos, tecnologías y proyectos.

Estas tres limitantes mencionadas anteriormente repercuten directamente en el avance del proyecto y en la implementación de las acciones correctivas y preventivas.

6.3. Relevancia y trascendencia disciplinaria del caso

Debido a la naturaleza de variación del proceso de intervención, las variables de entrada y de salida, así como el claro objetivo de reducir el porcentaje de desperdicio contra ventas, la ejecución del proyecto de mejora aplicando la metodología del DMAIC fue la más adecuada, ya que esta metodología tiene como principal objetivo la reducción de la variación en los procesos, siguiendo los principios de solución de problemas de manera estructura y a través

de cada una de las 5 etapas nos proporciona herramientas estadísticas que nos ayudan a definir el problema, medir el rendimiento del proceso, identificar las causas que ocasiona el problema, la implementación de mejoras y, por último, el establecimiento de medidas de control.

El uso de la metodología DMAIC y la documentación de este proyecto de mejora ayudó a que por medio de datos y evidencias de análisis estadísticos el equipo de trabajo involucrado se convenciera del porque había que enfocar el análisis hacia variables específicas y sobre cuales acciones de mejora nos iban a generar un mayor impacto para lograr el objetivo planteado de manera que el tiempo y esfuerzo invertido en este análisis por cada miembro del equipo agregara valor.

DMAIC no es sólo una metodología; es un compromiso con la excelencia que puede llevar a las organizaciones a un viaje de mejora continua y excelencia operativa.

7. Bibliografía

Actronics SL (S.F). La historia del cuadro de instrumentos: de una maqueta a la proyección

3D. <https://www.actronics.es/noticias/la-historia-del-cuadro-de-instrumentos-de-una-maqueta-a-la-proyeccion-3d#E1%20Primer%20Veloc%3%ADmetro%20en%20Un%20Auto>

AIAG (1995). Statistical Process Control (SPC) reference manual. Automotive Industry Action Group.

Álvarez Arteaga, A. (2022, 20 de febrero). SIPOC: Una útil herramienta para definir objetivos y obtener resultados.

<https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/sipoc-una-%C3%BAtil-herramienta-para-definir-objetivos-y-obtener-resultados>

Concepto (S.F). Diagrama de Gantt. <https://concepto.de/diagrama-de-gantt/>

El Guendy, M. y Agarwal N. (S.F). *Cambio electrizante en la evolución de las pantallas automotrices*. <https://www.topelectric.es/cambio-electrizante-en-la-evolucion-de-las-pantallas-automotrices/>

Escalante Vázquez, E. J. (2005) *Seis-sigma. Metodologías y Técnicas*. Limusa

Gutiérrez Pulido, H. (1997). *Calidad Total y productividad*. McGraw-Hill.

Gutiérrez Pulido, H. y De la Vara Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma* (2.^a ed.). McGraw-Hill.

Lean Six Sigma Institute [LSSI]. (S.F). Explicación de la metodología DMAIC.

<https://leansixsigmainstitute.org/es/explicacion-de-la-metodologia-dmaic-de-lean-six-sigma/>

Liker, Jeffrey K. (2020). *The Toyota Way. 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.

Minitab (S.F). Interpretar los resultados clave para Estudio R&R cruzado del sistema de medición. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/how-to/gage-study/crossed-gage-r-r-study/interpret-the-results/key-results/>

Modor Intelligence. (S.F). Análisis de participación y tamaño del mercado de Head Up Display tendencias y pronósticos de crecimiento (2024-2029). <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/automotive-head-up-display-market>

Notidial SL (2021). La historia de cómo surgió la radio en el coche. <https://www.notidial.com/noticias/la-historia-de-como-surgio-la-radio-en-el-coche>
La historia de cómo surgió la radio en el coche

Plexus International. (S.F). ¿Qué es MSA? (Análisis de los sistemas de medición).

<https://plexusintl.com/mx/blog/que-es-msa/>

Socconi, L. (2008). *Lean Manufacturing paso a paso. El sistema de gestión empresarial japonés que revolucionó la manufactura y los servicios*. Grupo Editorial Norma.

SPC Consulting Group. (S.F). Análisis de Capacidad - Cp / Cpk / Pp / Ppk

SPC.<https://spcgroup.com.mx/analisis-de-capacidad-cp-cpk-pp-ppk/#indices%20ppk%20cpk>

SPC Consulting Group. (S.F). SPC Control Estadístico de Proceso.

<https://spcgroup.com.mx/que-es-spc/>

SPC Consulting Group. (S.F). MSA Análisis del Sistema de Medición.

<https://spcgroup.com.mx/msa/#sistemas>

8. Glosario

AIAG: Acrónimo de Automotive Industry Action Group, o en español, Grupo de Acción de la Industria Automotriz.

Core tools: Conjunto de herramientas y metodologías estandarizadas desarrolladas por el AIAG para mejorar la calidad en la industria automotriz.

CTQ: Critical to Quality.

DMAIC: Metodología de solución de problemas.

FPY: First pass yield o en español rendimiento de primer paso.

Gage R&R: Estudio de repetibilidad y reproducibilidad.

Gage: Cualquier dispositivo utilizado para obtener mediciones.

Head up Display: Dispositivo electrónico que proyecta una imagen al parabrisas del vehículo.

IATF 16949: Norma internacional que establece los requisitos para los sistemas de gestión de calidad en la industria automotriz.

KPI: Key Performance Indicator.

Lean Manufacturing: Manufactura esbelta.

Minitab: Software estadístico que permite analizar datos complejos.

OEM: Original equipment manufacturer.

Scrap: Desperdicio o material no conforme.

SIPOC: Supplier-Input-Process-Output-Customer.

SM: Área de negocio del sector AUTO.

SPC: Acrónimo de Statistical Process Control, o en español Control Estadístico de Proceso.

UE: Área de negocio del sector AUTO.