

CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada
Dirección de Posgrado



Uso de la metodología Shainin para medir y mejorar la eficiencia del control de cambios de 4M en procesos de inyección de manijas de puertas y mangueras de drenado

TESIS QUE PRESENTA

Ing. Daniel Isaac Padilla Esparza
Asesor: Dr. Hugo Arcos Gutiérrez
Coasesor: Dr. Raúl Pérez Bustamante

Para obtener el grado de

Maestro en
Manufactura Avanzada

Aguascalientes, Aguascalientes
agosto, 2023

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



CIATEQ

San Luis Potosí, SLP, a 12 de julio del 2023.

Mtro. Geovany González Carlos
Gerencia de Posgrado
CIATEQ, A.C.

El abajo firmante, miembro del Comité Tutorial del **Ing. Daniel Isaac Padilla Esparza**, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis, titulado "**Uso de la metodología Shainin para medir y mejorar la eficiencia del control de cambios de 4M en procesos de inyección de manijas de puertas y mangueras de drenado**" autorizo que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **Maestro en Manufactura Avanzada**.

Sin otro particular por el momento, agradezco la atención prestada.

Dr. Hugo Arcos Gutierrez
Asesor Académico



2023
AÑO DE
Francisco
VILLA
A. INSTITUTO DEL ESTADO

CARTA DE LIBERACIÓN DEL COASESOR



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



CIATEQ

San Luis Potosí, SLP, a 12 de julio del 2023.

Mtro. Geovany González Carlos
Gerencia de Posgrado
CIATEQ, A.C.

El abajo firmante, miembro del Comité Tutorial del **Ing. Daniel Isaac Padilla Esparza**, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis, titulado "**Uso de la metodología Shainin para medir y mejorar la eficiencia del control de cambios de 4M en procesos de inyección de manijas de puertas y mangueras de drenado**" autorizo que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **Maestro en Manufactura Avanzada**.

Sin otro particular por el momento, agradezco la atención prestada.

Dr. Raúl Pérez Bustamante
Coasesor Académico



CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



Toluca, Estado de México, 02 de agosto del 2023.

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del alumno Ing. Daniel Isacc Padilla Esparza, cuyo título es:

“Uso de la metodología Shainin para medir y mejorar la eficiencia del control de cambios de 4M en procesos de inyección de manijas de puertas y mangueras de drenado”

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el alumno, y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la Institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

Firma

M. en C. Luis Dante Meléndez Morales
Construction Services Inspector
A&B Projects Technical
luis_melendez@tcenergy.com

F31b Revisión: 01-Mar-2021

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mi esposa Martha, quien fue testigo en carne propia de los días y noches llenas de esfuerzo y dedicación, su paciencia, comprensión y, sobre todo, su amor fueron la piedra angular para no desistir y obtener este logro juntos.

A mis padres, Bety y Arturo, que con su ejemplo y perseverancia diaria en cuidar y formar una familia y al mismo tiempo seguir avanzando y creciendo en su formación profesional, forjaron la persona que soy, mi vida y mis éxitos son también de ellos.

A mis hermanos Caty y Arturo, por su comprensión y apoyo a lo largo de este tiempo, y más que nada por compartir esa actitud positiva en tiempos complicados que fue un impulso extra para concluir esta tesis.

A mis abuelos que, aunque ya no están en este mundo, sé que estarían muy orgullosos y felices de este éxito de su "güero".

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi asesor de tesis, el doctor Hugo Arcos, y mi coasesor, el doctor Raul Perez, por su confianza y dedicación en este trabajo.

A la maestra Claudia Morales, por su apoyo invaluable durante el transcurso de esta maestría y la amistad que se formó incluso desde antes de entrar a CIATEQ.

A mi padre Dios, que me brindo de sabiduría para saber llevar a cabo esta tesis, por iluminarme cuando el camino se ponía oscuro, por escuchar mis oraciones y plegarias. "Todo lo puedo en Cristo que me fortalece".

* * *

RESUMEN

En el siguiente trabajo apreciaremos los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología Shainin para medir la eficiencia del control de cambios de 4M en dos procesos de manufactura a base de inyección de material pero que producen partes diferentes para la industria automotriz:

- Fabricación de mangueras de drenado.
- Fabricación de manijas de puerta.

La reducción de variabilidad que ofrece la metodología Shainin a través del Red X nos permitirá poner a prueba estos dos procesos de manufactura y comprobar la teoría que a través de un método cuantitativo es posible medir y mejorar un sistema de control de cambios. Con los resultados que se analizaran, se comprobará que una gestión de cambios con valores medibles tiene como resultado final beneficios para proveedores como para las empresas ensambladoras, enfocándose en ahorro de costos, mejora en detección de modos de falla, aumento de calidad de partes y fidelidad en confianza de los siguientes clientes.

Durante la investigación llevaremos a cabo diferentes técnicas de medición que abarca la metodología Shainin y que son aplicables para industria automotriz para determinar la estabilidad de un proceso, así como, también veremos diferentes métodos de evaluación de procesos que han tenido gran impacto a lo largo de la manufactura robusta en la mejora continua y detección de áreas de oportunidad, así como resolución de problemas.

Palabras clave: Gestión de cambios, Shainin, Inyección, 4M.

ABSTRACT

In the following text we will appreciate the results gotten from the Shainin methodology application to measure the 4M change management control efficiency in two manufacturing processes based on injection of material and produce different parts to automotive industry:

- Drain hoses manufacturing.
- Door handgrip manufacturing.

The reduction of variability offered by the Shainin methodology through Red X will allow us to try out these two manufacturing processes and proof the theory that trough a quantitative method is possible to measure and improve a change management system. With the results that will be analyzed, it will be verified that a change management with measurable values, has as final result benefits for suppliers and assembly enterprises, focusing on save costs, improve failure mode detection, increase quality of parts and fidelity of customers.

During the investigation we will carry out different techniques of measurement that apply for Shainin methodology and that are applicable for automotive industries to determine the stability of a process as well as we will see different methods for process evaluation that have had big impact along robust manufacturing in the continuous improvement, opportunity detection areas and problem solving.

Keywords: Change management, Shainin, Injection, 4M

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE DE CONTENIDO	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	13
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. ANTECEDENTES	14
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3. JUSTIFICACIÓN	16
1.4. OBJETIVOS.....	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos	17
1.5. HIPÓTESIS.....	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. GESTIÓN DE CAMBIOS DE 4M.....	18
2.1.1 Herramientas en un sistema de control de cambios en la industria automotriz	19
2.2. CARACTERÍSTICAS DE CONTROL DE MANUFACTURA ESBELTA.....	24
2.2.1. Mediciones de Cp y Cpk.....	24
2.2.2. Diagrama de Ishikawa	26
2.2.3. Diagrama de Pareto	28
2.2.4. Diagrama de árbol de fallas	30
2.2.5. Análisis factorial	31
2.2.6. Tablas de contingencia	32
2.2.7. Six Sigma.....	33
2.2.8. Las 4M en el control de cambios	35
2.2.9. Norma IATF 16949	35
2.2.10. ISO 9001:2015	36
2.2.11. Metodología Shainin	36
3. PROCEDIMIENTO	38
3.1. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE EXPERIMENTO	38

3.2. COLECCIÓN DE INFORMACIÓN	39
3.3. ORDEN Y DISTRIBUCIÓN	39
3.4. PONDERACIÓN.....	40
3.5. ESTUDIOS ESTADÍSTICOS	41
3.6. BÚSQUEDA DE VARIABLE B VS C.....	42
3.7. ÁRBOL DE SOLUCIONES	43
3.8. PRIMERO, SEGUNDO Y TERCER CONTRIBUIDOR.....	44
4. RESULTADOS	46
4.1. ESCENARIOS DE CONTROL – COLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	46
4.2. OBTENCIÓN DE VALORES	52
4.2.1. Hojas de operación.....	52
4.2.2. Procedimiento estándar	53
4.2.3. 5's.....	55
4.2.4. Matriz de habilidades.....	56
4.2.5. Intención de diseño.....	57
4.2.6. Análisis de riesgo.....	58
4.2.7. Escalación	59
4.2.8. Junta de inicio de turno.....	60
4.2.9. Tiempo de vida del herramental	61
4.3 ESTUDIO ESTADÍSTICO	61
4.3.1 Discriminación del sistema de medición.....	61
4.3.2. Distribución y desviación estándar	63
4.3.3 Pareto y diagrama de tendencia.....	65
4.3.4 Búsqueda de variable, condición ideal vs la condición actual	68
4.4. ARBÓL DE SOLUCIONES	71
4.5. PRIMERO, SEGUNDO Y TERCER CONTRIBUIDOR.....	72
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	78
APORTACIÓN DE LA TESIS.....	79
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS.....	80
REFERENCIAS	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de tablero de control de cambios	21
Figura 2. Diagrama de pescado.....	27
Figura 3. Diagrama de pescado con ramificaciones.....	28
Figura 4. Gráfica de Pareto de problemas de calidad en una industria automotriz	29
Figura 5. Diagrama de árbol de fallas.....	30
Figura 6. Metodología Six Sigma DMAIC	33
Figura 7. Metodología Shainin para mejora de calidad	38
Figura 8. Árbol de soluciones.....	44
Figura 9. Diagrama de flujo para medición de 4M en procesos de inyección.....	45
Figura 10. Colección de datos.....	46
Figura 11. Diagrama de Ishikawa.....	47
Figura 12. Isoplot de S1 y S2	63
Figura 13. Isoplot de T1 y T2.....	63
Figura 14. Gráfica de distribución de factores con mayor contribución en el control de cambios de 4M de un proceso de inyección de manijas.....	65
Figura 15. Gráfica de distribución de factores con mayor contribución en el control de cambios de 4M de un proceso de inyección de mangueras	65
Figura 16. Gráfica de Pareto en la obtención de datos para inyección de manijas	66
Figura 17. Gráfica de Pareto en la obtención de datos para inyección de mangueras.....	67
Figura 18. Diagrama de tendencia en inyección de manijas	67
Figura 19. Diagrama de tendencia en inyección de mangueras.....	68
Figura 20. Gráfica representativa B vs C de control de cambios en la producción de manijas.....	69
Figura 21. Gráfica representativa B vs C de control de cambios en la producción de mangueras	70
Figura 22. Árbol de soluciones para estudio de 4M en inyección de manijas	71
Figura 23. Árbol de soluciones para estudio de 4M en inyección de mangueras..	72

Figura 24. Mayores contribuidores al control de cambios en el proceso de
inyección de manijas..... 73

Figura 25. Mayores contribuidores al control de cambios en el proceso de
inyección de manijas..... 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de procesos por CP	25
Tabla 2. Ejemplos de problemas de calidad en una industria automotriz.....	29
Tabla 3. Tabla descriptiva del diagrama de árbol de fallas	31
Tabla 4. Análisis factorial de 4 factores y 2 niveles.....	32
Tabla 5. Tabla de contingencia para disciplina y experiencia técnica en escritura.	33
Tabla 6. Tabla de métodos de análisis Shainin.	37
Tabla 7. Filtrado de escenarios por situación de control.....	40
Tabla 8. Filtrado de escenarios planeados y no planeados por situaciones de control.	40
Tabla 9. Ponderación de respuestas a puntos de control.....	40
Tabla 10. Factores que controlar por escenario.....	48
Tabla 11. Factores de control de los escenarios recolectados.....	51
Tabla 12. Encabezado de tabla de valores.	51
Tabla 13. Tabla de valores por hojas de operación.....	52
Tabla 14. Tabla de valores por procedimiento estándar.	53
Tabla 15. Tabla de valores por 5'S.....	55
Tabla 16. Tabla de valores por matriz de habilidades.	56
Tabla 17. Tabla de valores por intención de diseño.	57
Tabla 18. Tabla de valores por análisis de riesgo.....	58
Tabla 19. Tabla de valores por escalación.	59
Tabla 20. Tabla de valores por junta de inicio de turno.	60
Tabla 21. Tabla de valores por tiempo de vida del herramental.	61
Tabla 22. Sumario de valores para factores de control.....	62
Tabla 23. Conjunto de medias y desviación estándar.	64
Tabla 24. Intercambio de valores B vs C.	69

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de Cp.	25
Ecuación 2. Ecuación de CP con LSE y LIE sobre 6 sigma.....	25
Ecuación 3. Ecuación de Cpk	26
Ecuación 4. Ecuación para relación de discriminación.....	41
Ecuación 5. Ecuación de media.	41
Ecuación 6. Ecuación de desviación estándar.....	42
Ecuación 7. Ecuación de contribución de factores.....	43
Ecuación 8. Comprobación de DR.	62

1. INTRODUCCIÓN

En la industria moderna existen muchas técnicas para el control de procesos así como también existen muchas metodologías para resolver problemas de calidad en un producto, la resolución de un problema de calidad tiende a estar relacionado de alguna manera a la falta o ausencia total de un control en alguna parte del proceso de elaboración donde se aloje ese defecto y al mismo tiempo esa ausencia de control está relacionado a los campos de la industria conocidas como "M", o más específicamente a las "4M". Un proceso que carece de un buen nivel de gestión de cambios de 4M se refleja en la cantidad de reclamos de calidad. Dicho esto y detectando la necesidad de identificar una herramienta que muestre en general que partes del procedimiento de 4M tienen flaquezas, se hace uso de la metodología Shainin Red X por su gran repertorio de herramientas para detectar causas raíz y contribuidores a un problema, para medir cuantitativa la condición actual 4M del proceso del producto y con datos medibles y visuales confirmar si existen áreas de oportunidad; y de haberlas saber exactamente que "M" y que factor trabajar para estabilizar el proceso de control de cambios.

1.1. ANTECEDENTES

Anteriormente se han elaborado investigaciones para determinar diferentes factibilidades sobre áreas relativas a las 4M (Mano de obra, Método, Máquina y Material) como Jin Hwan Yoo en su investigación entre el análisis de riesgos con la información de dibujo basados en una gestión de cambios ("MOC" y "PSM") demostrando que tener una gestión de cambios en una industria es altamente recomendada para mejorar la efectividad de la implementación de un cambio (Yoo, et al, 2011), o Eddie en su artículo donde enfoca el éxito de los cambios a través de líderes de cambio que han sido asesorados a través de un programa de desarrollo de carrera aspiracional (Kilkelly, 2014), también Constatinos donde explica la necesidad de una mentalidad de liderazgo para lograr un cambio organizacional que sea exitoso (Choromides, 2018). Cao plantea que los cambios pueden mejorarse mediante el uso creativo de diferentes métodos (Cao et al.,

2004). Shahin en su investigación propuso diferentes métodos que aportan valor al control de cambios haciendo ajustes para que se realicen hasta cierto punto de forma automática concluyendo que estos mejoran la trazabilidad y el cumplimiento, así como reducción de costos de mano de obra más, sin embargo, no afectan al tiempo de realización del cambio (Karimidorabati et al., 2016). Por lo que podríamos decir que un método específico que arroje un valor o una ponderación al nivel del control en un proceso es necesario, así como también un método que permita identificar una o más áreas de oportunidad en la gestión de cambios para hacer de ellos más eficaces con el menor riesgo posible a la calidad de un producto.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El costo inicial por penalización de alerta de calidad es de 1,000 dólares, y eso atribuye a comenzar una actividad de inspección y confirmación dentro de la planta ensambladora, para ello es contratada una empresa externa dedicada especialmente a esta actividad de sorteo que consta de una confirmación y certificación de que las próximas piezas a entrar a producción no cuenten con el problema de calidad reportado, dentro de la planta ensambladora esta compañía externa cobra por hora de trabajo una cantidad de 80 dólares aproximadamente; esta planta verificadora detiene sus actividades una vez que se recibe nuevo material completamente certificado por el proveedor, la cantidad de días que pasen en ese lapso de tiempo depende del programa de producción en la ensambladora y de la dificultad para verificar la parte y el problema, a la sumatoria de los costos por la empresa verificadora más el costo inicial de la alerta de calidad se le agregan los gastos de investigación que consta de herramientas adicionales, instrumentos de medición, servicios de personas adicionales y los costos por la adopción de las acciones de contramedida que contrarrestaran el modo de falla inicial; con esto dicho una alerta de calidad tiene un impacto económico que puede elevarse muy por encima de lo que fue el cobro inicial, sin embargo falta añadir el impacto hacia la marca ensambladora de vehículos, de acuerdo un estudio estadístico compartido por la autora Ruby Newell, nos dice que

“Se requieren 12 experiencias positivas para contrarrestar solo 1 experiencia negativa con una empresa” (Ruby Newell, 2020).

Con estos datos estadísticos sobre el impacto en la marca ensambladora, aumento en alertas de calidad, el costo por ellos, así como la tendencia por los fenómenos que concluyen en una o varias de las 4M antes mencionados podemos decir que hay oportunidades en la gestión de control cambios en los procesos de manufactura de los proveedores que se podrían analizar y tratar de robustecer dependiendo del análisis de los resultados.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se enfocará en la aplicación del método cuantitativo Red X para medir la eficiencia de un gestor de cambios en el área de 4M sobre 2 procesos de manufactura diferentes que son:

- 1) Inyección de manijas para puertas.
- 2) Inyección de mangueras de drenado.

Con la intención de ofrecer una herramienta certera al momento de evaluar cambios de 4M como factores de causa raíz para problemas de calidad. El estudio permitirá concientizar a los proveedores de ambos procesos que un control eficaz de 4M sobre cambios planeados y no planeados puede tener efectos positivos respecto ahorros de costos, confiabilidad y estabilidad en sus procesos de manufactura, así como también hará aportación para generar lealtad en los clientes finales.

De igual forma este estudio permitirá fortalecer un análisis o investigación de modos de falla haciendo más reducido el tiempo durante el desarrollo, así como certero en la identificación de causas raíz sobre problemas de calidad basándonos en las herramientas a utilizar, los históricos de cambio y los planes de reacción que podrían utilizarse ante una eventualidad sea de urgencia o no.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Utilizar la metodología de Shainin Red X como herramienta para medir la eficiencia del control de cambios en los procesos de inyección de manijas para puerta e inyección de mangueras de drenado.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Identificar áreas de oportunidad en la producción por parte de los proveedores a través de la metodología Shainin.
- b) Obtener resultados cuantitativos que permitan aislar el factor dominante, como área de oportunidad en el control de cambios en el proceso de inyección de los proveedores.
- c) Contribuir a la reducción de impactos de calidad a la planta ensambladora por retrabajos, reparaciones, reemplazo de partes y los costos que estos conllevan.
- d) Consolidar una estabilidad en el proceso de manufactura de los proveedores, a través de la medición de control de cambios planeados y no planeados.
- e) Confirmar que los proveedores cuenten con los requerimientos que la norma IATF 16949 establece para el aseguramiento de calidad en 4M.

1.5. HIPÓTESIS

La aplicación de la metodología Shainin es una herramienta de análisis efectiva para identificar áreas de oportunidad y contribuidores con mayor aportación para una gestión de control de cambios de 4M en la producción de proveedores de partes automotrices a través del uso de las diferentes herramientas que ofrece la metodología en si, como diagramas tipo isoplot, búsqueda de variables, búsqueda de componentes, análisis multiVari.

2. MARCO TEÓRICO

En la industria automotriz, como en cualquier empresa manufacturera, la calidad del producto que satisface las necesidades del cliente es de suma importancia para la supervivencia en el mercado competitivo, (Neves, 2018), sin embargo la calidad se ve comprometida por los distintos defectos o problemas que puedan surgir en la producción del vehículo que son la causa y efecto de algún fenómeno que podríamos decir que fue “planeado” o “no planeado”, al analizar estos fenómenos se llega a una causa raíz proveniente de un fallo en uno o varios de los campos propuestos por Kaoru Ishikawa, a través de un diagrama conocido como diagrama de Ishikawa en los cuales engloba: Mano de obra, Máquina, Material, Método, Medición y Medio ambiente (Ishikawa, 1943).

Este diagrama que lleva su nombre también es conocido como espina de pescado, es una técnica utilizada para analizar un problema e identificar las posibles causas, también puede ser usado con otros fines como lo es la mejora de procesos, (Delgado, 2021) analiza los 6 campos mencionados anteriormente, estos campos les podemos llamar como “6M”, sin embargo, para efectos de este estudio nos basaremos solamente en 4, Mano de Obra, Maquinaria, Material y Método.

En temas de calidad, el conocimiento del significado y la aplicación de estas “4M” en un proceso de manufactura es imperativo para poder llevar a cabo la elaboración de cualquier producto de manera eficiente y, por supuesto, rentable para la empresa, de manera que al vender un producto con un alto nivel de calidad ha pasado por análisis y aplicación de 4M (Favi, et al., 2017).

2.1. GESTIÓN DE CAMBIOS DE 4M

Una gestión de cambios implica un enfoque sistemático para gestionar el cambio respecto a recursos y personal tomando en cuenta ciertos factores (Al-Ali et al, 2017). En problemas de calidad que pasan de un emisor a un receptor siempre existen 2 incógnitas a responder ¿Cómo fue qué pasó? y ¿Por qué no se detectó? Dicho esto, una gestión de cambios de 4M es un sistema dentro de una

organización que se encarga de prever y controlar cambios al proceso o producto que a través de acciones estandarizadas se pretende evitar fugas de productos no conformes o con riesgo de mala calidad y evitar la ocurrencia de situaciones que impliquen un cambio de factores de producción. El sistema de control de cambios conlleva comunicación, aprobación y confirmación, para cada cambio o tipo de cambio ya sea planificado o ante un evento no esperado, incluye una política de escalación basada en la gravedad del cambio donde el alcance cubra a los afectados por el cambio, así como a la gerencia. Es la aplicación de diferentes ideas desde el campo de negocios, desarrollo organizacional y psicológico (Hiatt, 2012). De acuerdo con la norma IATF 16949 (International Automotive Task Force) para los cambios en la industria automotriz se necesitan diferentes criterios y requerimientos para que el cambio sea validado por la empresa donde sucede el cambio, así como el cliente siguiente (IATF 16949, 2016), de los cuales se puede atribuir a tener una persona responsable de gestionar y auditar los cambios a realizar para garantizar su cumplimiento, en donde se delegan tareas específicas para inspectores y/o aprobadores identificados como responsables, así como también se incluyen requisitos y procedimientos de contención y cancelación.

2.1.1 Herramientas en un sistema de control de cambios en la industria automotriz

Existen diferentes herramientas que aportan mayor y mejor control en los cambios relacionados a 4M, a lo que por norma internacional las organizaciones deben “determinar y aplicar los criterios y los métodos (incluyendo el seguimiento, las mediciones y los indicadores del desempeño relacionados) necesarios para asegurarse de la operación eficaz y el control de estos procesos” (Organización Internacional de Normalización, 2015)

a) Sistema de gestión visual.

Un sistema de gestión visual es una herramienta que permite observar de manera verbal los cambios actuales tanto planeados y no planeados, el cual al tener los

cambios clasificados por columnas entre cada "M", es decir, Mano de Obra, Maquinaria, Método y Material, es visible la acción del cambio con el responsable asignado y los involucrados, son de fácil acceso para el personal de la planta, este sistema de gestión visual brinda soporte en el rastreo de cambios efectuados al proceso o producto. La comunicación visual contribuye a la forma de gestionar de forma continua la comunicación durante un proceso de cambio (Eriksson, 2017).

Una práctica común para este sistema visual es a través de tableros que son exhibidos en las áreas de producción, importante es que posean las características de fácil borrado y escritura, pudiendo ser pizarrones de borrado en seco, pintarrones que usen plumones con tinta que no sea indeleble o pantallas controladas por un computador, como ejemplos útiles de un sistema de control de cambios usando la gestión visual. La intención es que se utilicen para mostrar los cambios en el tiempo real que tienen lugar. Los tableros contienen instrucciones sobre cómo gestionar los cambios repentinos y los cambios planeados con anticipación, son clasificados de tal manera que el cambio se asocie con el riesgo que contenga, además contiene una descripción de lo que es el cambio, los responsables, el documento de rastreo que dirige hasta el método de validación del cambio, el tiempo en el que estará sucediendo este cambio, la jerarquía de equipo para una rápida escalación en la necesidad de un cambio urgente no planeado.

Estos tableros son actualizados de manera diaria en las juntas con la gerencia, el supervisor de producción y el personal en turno. A continuación, se visualiza un ejemplo de cómo luciría un tablero de control de cambios de 4M (Figura 1).

Tablero de cambios de 4M								
	"M"	¿Qué?	¿Quién?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Revisado por?	Documento de rastreo
Instrucciones de cambios de 4M	Man							
Guía de clasificación para cambios de 4M	Metodo	Seguimiento de confirmación de cambios de 4M						
Diagrama de equipo por jerarquía	Maquina							
Validación de cambios de 4M	Material							

Figura 1. Ejemplo de tablero de control de cambios
Elaboración propia

b) Juntas con gerentes supervisores y personal de producción.

La norma IATF 16949 hace referencia a la norma ISO 9001, para abordar requisitos establecidos en cumplimiento a la calidad requerida por los clientes en vehículos automotrices, uno de estos requisitos son las juntas diarias de control (Organización Internacional de Normalización, 2015). Estas juntas ocurren de manera diaria al comienzo del turno, donde a través del orador y el líder se comunican los temas más relevantes de la producción de la empresa, en estas reuniones se establece un espacio para hablar de los cambios de 4M y estos son anotados y/o referenciados al tablero de control, adquiriendo una asignación de responsabilidad a una persona o un grupo de personas, dependiendo del análisis de cambio y riesgo que pueda tener, como lo podría ser un caso de ausentismo, el encargado de producción debe ser el responsable de que la persona que cubra esa posición cuente con el nivel de habilidad requerido, tenga suficiente experiencia y sea apto para realizar la labor.

Se comunica a la gerencia para que esté consciente del porque está ocurriendo el cambio, como es que fue validado a través del plan de escalación establecido

y que factores, respecto a la calidad, existen que puedan impactar a la calidad producto final y/o al cliente de manera directa.

c) Planes de escalación y validación para todos los cambios.

La norma internacional ISO 9001 Sistemas de gestión de calidad – Requisitos en su artículo 5.3 denominado “Roles, responsabilidades y autoridades en la organización” establece que: “La alta dirección de la organización debe asignar responsabilidad y autoridad para:” subsección C “informar, en particular a la alta dirección sobre el desempeño del sistema de gestión de la calidad y sobre las oportunidades de mejora” (Organización Internacional de Normalización, 2015). En función de cumplir este requerimiento sobre una pronta comunicación con la dirección sobre el desempeño de la calidad del producto se han generado planes de escalación y validación internos en cada compañía que van en relación con el riesgo potencial de un cambio sobre las 4M, la notificación al personal con mayor rango dentro de la empresa ira aumentando, dependiendo del análisis de riesgo y el impacto del cambio. También incluye tiempos de respuesta, a manera de mejora en el desempeño para la solución de problemas, ante una eventualidad la persona encargada da aviso del suceso establecido por el método de la empresa y conforme el tiempo transcurra durante la solución del problema la notificación de manera escalada ira aumentando.

Los planes de escalación establecidos para una eventualidad de cambio de 4M tienen al menos los siguientes criterios:

- Todos los cambios cuentan con acciones de contención comunicadas y discutidas con el equipo correspondiente.
- Los cambios se definen y agrupan en un orden de riesgo y severidad definido de acuerdo con las instrucciones establecidas en el tablero de control.
- Todos los cambios necesitan un procedimiento de validación, comunicación y discusión.

- Los cambios no planeados se necesitan escalar inmediatamente al nivel de gestión apropiado basado en el tipo de cambio.

d) Contención rápida de piezas defectuosas causadas por un cambio.

Ante una eventualidad derivada de un cambio en la que existan partes no conformes con las especificaciones y calidad requeridas, “la organización debe tomar acciones para controlarla y corregirla; hacer frente a las consecuencias” (Organización Internacional de Normalización, 2015) por lo que las organizaciones fabricantes de estos productos necesitaran realizar una contención al material no conforme, realizar una confirmación de cuantas piezas están dentro de las especificaciones, cuantas se encuentran fuera y otorgar un estimado de partes que podrían tener defecto, a través de acciones inmediatas para asegurar nuevamente la calidad del producto.

Los fabricantes cuentan con las herramientas y recursos necesarios para realizar estas confirmaciones de manera certera y en el menor tiempo posible, ambas condiciones tanto las no conformantes, como las que sí lo son, son identificadas y contenidas. Regularmente el tiempo establecido para ensambladoras de vehículos y para hacer contenciones de producto no conforme es de 24 horas, sin embargo, este tiempo puede variar dependiendo del cliente al que el fabricante le venda su producto.

e) Compilación, almacenamiento y análisis de cambios.

Cada cambio se necesita recopilar y conservar para que estos datos puedan ser analizados en busca de tendencias y que sirvan para mejora interna de los procesos del fabricante, o bien ante la necesidad de que el cambio ocupe ser rastreado definir a partir de qué fecha ocurrió, la información debe estar disponible en cualquier momento.

f) Responsable asignado para el control de cambios.

Existe una persona o un grupo de personas encargados del control de los cambios que son los responsables del desarrollo e implementación de los requisitos para el control de cambios, realizan auditorías internas para asegurar el seguimiento de la gestión de cambios, además también realizan auditorías de 4M a los subproveedores. Esta persona o personas responsables se aseguran de capacitar a las personas dentro del equipo y de impulsar el cumplimiento de los criterios mínimos para un control de cambios de 4M eficaz.

g) Programa de auditoría interno y a nivel subproveedor.

El responsable de 4M tiene establecido un programa en el que se especifica fechas de auditorías tanto internas como externas para los subproveedores, las auditorías se realizan con la frecuencia establecida y los datos deben ser recabados, almacenados e informados a la gerencia.

2.2. CARACTERÍSTICAS DE CONTROL DE MANUFACTURA ESBELTA

A continuación, se revisarán herramientas comunes en la manufactura esbelta que se usan para análisis de datos e investigación de modos de falla.

2.2.1. Mediciones de Cp y Cpk

Las mediciones de Cp y Cpk, cuyos nombres completos son *índices de capacidad potencial* e *índice de capacidad real respectivamente*, son estudios estadísticos sobre la capacidad de un proceso, donde los valores obtenidos indican si el proceso evaluado es estable y adecuado para el trabajo, estos datos arrojan la condición actual de la producción para confirmación de que cumple con los objetivos indicados desde el diseño, al igual que cumplen con los objetivos de calidad y confiabilidad (Cuamea Cruz et al., 2022).

El Cp. es la relación entre la tolerancia especificada y la tolerancia natural o capacidad del proceso (Navarro Navarro et al., 2020). Bajo la metodología six sigma se mide en los siguientes indicadores de la Tabla 1 (Antonucci, 2020).

Tabla 1. Clasificación de procesos por CP

Cp	Categoría	Descripción
Cp ≥ 2	Clase mundial	Six sigma
1.33 ≤ Cp < 2	1	Adecuado
1 ≤ Cp < 1.33	2	Requiere control estricto
0.67 ≤ Cp < 1	3	Requiere modificaciones serias
Cp < 0.67	4	No adecuado

(Antonucci, 2020)

a) Ecuación de Cp.

El valor para el Cp es definido por la Variación Tolerada y la Variación real mostrada en la Ecuación 1.

$$Cp = \frac{VT}{VR}$$

Ecuación 1. Ecuación de Cp.

Donde la variación tolerada (VT) es el ancho definido entre los límites de una especificación, límite de Especificación Superior (LES) y límite de una especificación inferior (LEI); y la variación real (VR) es el ancho que debería contener casi todos los datos del proceso y que es representada por 6 veces la desviación estándar. Por lo que la Ecuación 1 al reemplazar lo antes mencionado queda de la siguiente manera en la Ecuación 2.

$$Cp = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

Ecuación 2. Ecuación de CP con LSE y LIE sobre 6 sigma.

b) Ecuación de Cpk

Para determinar qué tan centrado está el proceso dentro de las tolerancias por diseño en comparación con el valor real se utilizar el valor de Cpk, donde al límite superior por especificación se resta la media del muestreo ecuación de Cpk, se lee de la siguiente manera en la Ecuación 3.

$$Cpk (LEI) = \frac{LES - \tilde{x}}{3\sigma}$$

Ecuación 3. Ecuación de Cpk

Donde LEI es el Límite de Especificación Inferior y LES el límite de especificación superior. Y esta ecuación nos arroja datos reales acerca de la capacidad que alcanza un proceso independientemente de que la media este centrada entre los límites de especificación o no.

El valor de Cpk con respecto a CP es la medida directa de que tan apartado del centro está la condición actual del proceso (Navarro et al., 2020).

2.2.2. Diagrama de Ishikawa

Creado por Kaoru Ishikawa en 1943, es un sistema de análisis de información de posibles causas que tienen por resultado un efecto negativo, formado por una línea central como lo sería una columna vertebral donde está conformada por diferentes costillas, para este tipo de análisis las costillas son nombradas por cada "M" conocida en la industria, que normalmente estas costillas llevan por nombre: "Mano de Obra", "Método", "Máquina", "Medio ambiente", "Medición" y "Material", y que cada "M" se desglosara en posibles causas menores.

Por la figura que se forma en este tipo de análisis (Figura 2) se suele nombrar también como "Diagrama de pescado".

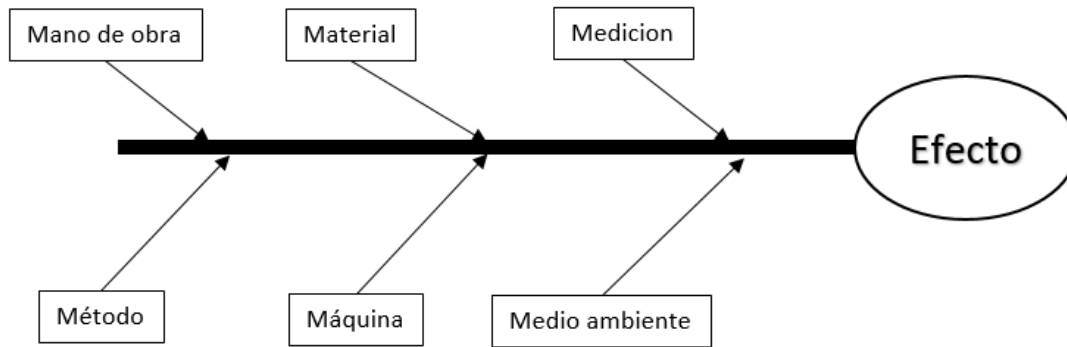


Figura 2. Diagrama de pescado
Elaboración propia

Es una herramienta de análisis visual para coleccionar y determinar posibles causas raíz de un problema (Costa et al., 2017). Hay dos formas de realizar un diagrama de pescado, la primera es mediante una lluvia de ideas donde más de una persona está envuelta en el asunto y trabajando en conjunto se generan las ideas del posible problema ordenándolas respectivamente en la categoría correspondiente, la segunda forma es identificando la idea principal para poderla graficar y cada una de las costillas de la espina de pescado sería identificadas como las causas secundarias. Las ideas generadas para el análisis es necesario que sean de manera objetiva, dado que las opiniones personales podrían comprometer los resultados finales.

Una vez hecho el diagrama general de Ishikawa, cada ramificación o costilla de pescado debe descomponerse de acuerdo con los posibles motivos o ideas obtenidas mediante el ejercicio de colaboración, como se muestra en la Figura 3; la cantidad de posibilidades no tiene que ser la misma para cada ramal, cuando se trata de analizar un hecho social se tienen que considerar todas las posibles causas en conjunto lo que generalmente complica el problema (Solana, 2016).

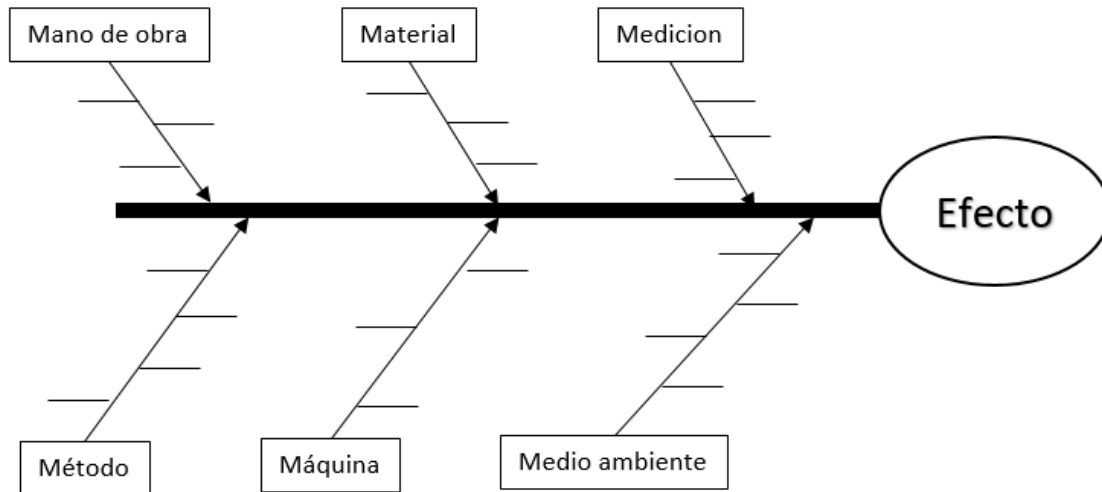


Figura 3. Diagrama de pescado con ramificaciones
Elaboración propia

2.2.3. Diagrama de Pareto

Creado por el economista Vilfredo Pareto a principios del siglo XX para explicar fenómenos de la economía pero que posteriormente sería adaptado con fines de calidad por Juran y Gryna en 1980. Este diagrama es una representación gráfica que representa en forma ordenada en relación de importancia o magnitud, la frecuencia de la ocurrencia de las distintas causas de un problema (Gonzalez, 2014). La importancia que logro destacar el economista Pareto al usar esta gráfica es que existen muchos problemas que no tienen tanta relevancia frente algunos pocos que realmente tienen impacto, por lo que al momento de graficar es más fácil identificar estos verdaderos problemas.

La gráfica se debe acomodar por columnas en un orden decreciente de acuerdo con los factores identificados y que tengan un valor cuantificable asignado, posteriormente se usa una curva de frecuencias acumuladas para indicar la contribución de los elementos seleccionados en el estudio.

Tomemos por ejemplo el siguiente conjunto de datos en la Tabla 2 sobre problemas de calidad en una industria manufacturera de partes de vehiculares:

Tabla 2. Ejemplos de problemas de calidad en una industria automotriz

Problema	Cantidad de reclamos en junio 2020	Porcentaje
Ausentismo	7	9.46
Mal entrenamiento	20	27.03
Falla en la maquinaria	12	16.22
Fallo de Luz eléctrica	1	1.35
Ausencia de Material	3	4.06
Material incorrecto	6	8.1
Segregación incorrecta	13	17.56
Falta de experiencia	2	2.7
Sensores de detección rotos	10	13.51
Total	74	100

Elaboración propia

Después de tener los elementos con valores cuantificables, como se mencionó anteriormente se procede a graficar por columnas y a realizar la curva de frecuencias acumuladas como se muestra en la Figura 4.

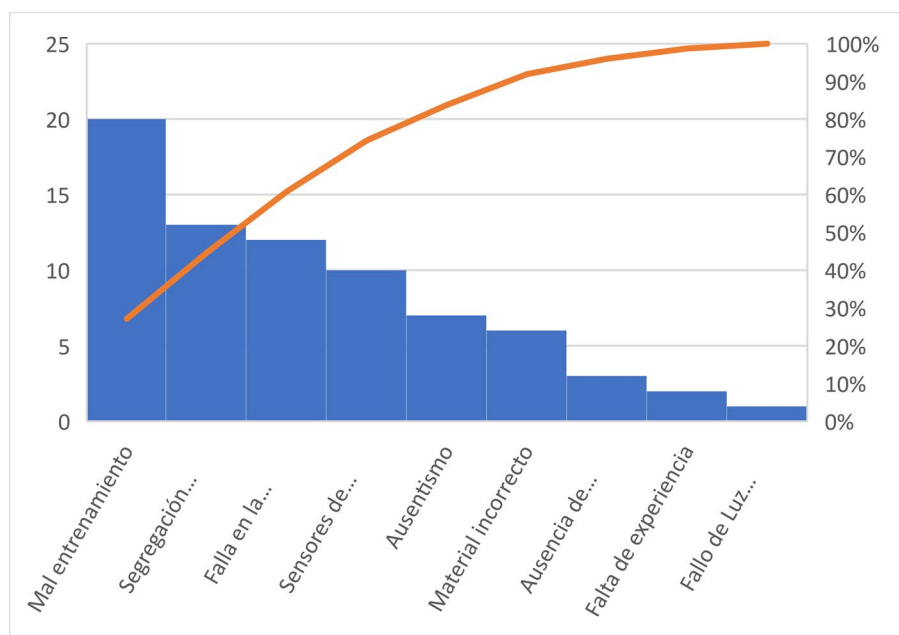


Figura 4. Gráfica de Pareto de problemas de calidad en una industria automotriz
Elaboración propia

Lo que podemos observar en la gráfica es que, a diferencia del fallo en la luz eléctrica y la falta de experiencia, los elementos que más conllevan a un problema es el mal entrenamiento y la segregación incorrecta.

2.2.4. Diagrama de árbol de fallas

El diagrama de árbol de fallas es un método gráfico que permite visualizar a través de un desglose por razonamiento deductivo, los factores que pudieran estar generando el problema que se está estudiando, empezando de la falla y haciendo ramales para cada evento específico de tal forma que al ir avanzando la figura que se va creando se asemeja a la de un árbol y se concluye cuando todos los eventos que pudieran generar el problema estén en los ramales.

Para este tipo de análisis se usan diferentes figuras como representaciones para los eventos y las líneas para las conexiones entre unos y otros. En la siguiente figura (Figura 5) se podrá observar un ejemplo de un árbol de falla con las descripciones de cada símbolo indicados en la Tabla 3:

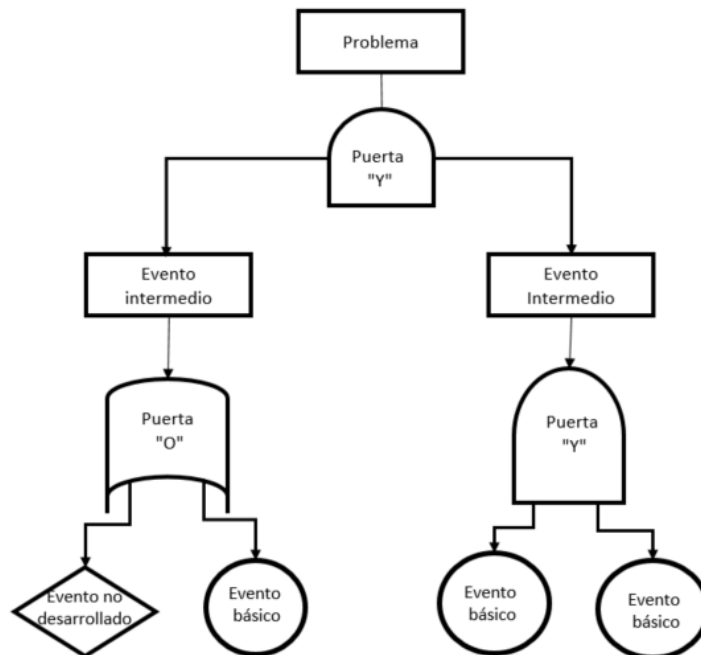

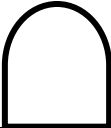
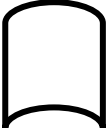
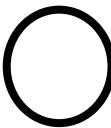
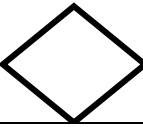
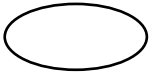
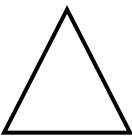


Figura 5. Diagrama de árbol de fallas
Elaboración propia

Tabla 3. Tabla descriptiva del diagrama de árbol de fallas

Símbolo	Nombre	Descripción
	El rectángulo	Representa el problema a analizar y va situado en la punta del árbol también puede encontrarse en diferentes partes del árbol para indicar otros eventos que surgen del problema inicial.
	Puerta "Y"	Funciona como puerta de entrada y representa una situación de resultado en la que el resultado ocurrirá si todos los eventos de entrada existen en el mismo momento.
	Puerta "O"	funciona como puerta de entrada y Representa una situación en la que cualquiera de las condiciones que se sitúen en una posición inferior a esta puerta de entrada llevaran a la situación que se encuentre arriba de la puerta.
	Círculo	Representa un evento base en el árbol en la que no hace más que se desarrolle más.
	Diamante	Representa un evento terminal sin desarrollar que podría significar falta de información o relevancia para el problema a analizar.
	Óvalo	Representa una situación que no es común y que ocurre bajo ciertas circunstancias.
	Triángulo	El triángulo una transferencia de una posición del árbol a otra donde lo que este indicado debajo de este pasa a otra área del árbol.

Elaboración propia

2.2.5. Análisis factorial

Es un método estadístico usado para estudiar si una o más variables de control de diferente nivel tienen efecto significativo sobre una variable (Gao & Jia, 2017). Es efectivo para optimizar productos y diseñar procesos en relación con las características de calidad (Steinfelder et al., 2022). Comúnmente usado para análisis experimentales en procesos que son sensibles a cambios por parámetros de proceso. Garcia et al., 2018 Existen diferentes tipos de análisis factoriales, los que abarcan todos los factores y niveles, así como también los que abarcan fracciones de los factores donde el análisis considera solamente algunas de las posibles

combinaciones de factores y niveles (Bacciaglia et al., 2021). En la Tabla 4 se puede observar un análisis factorial muy común de 4 factores y 2 niveles que tienen el rol como variables independientes pero que al actuar en conjunto forman un nuevo valor como variable dependiente.

Tabla 4. Análisis factorial de 4 factores y 2 niveles.

		Variable independiente	
		Nivel 1	Nivel 2
Variable independiente	Nivel 1	Variable dependiente	Variable dependiente
	Nivel 2	Variable dependiente	Variable dependiente
	Nivel 3	Variable dependiente	Variable dependiente
	Nivel 4	Variable dependiente	Variable dependiente

Elaboración propia

2.2.6. Tablas de contingencia

Las tablas de contingencia son herramientas útiles para guardar y clasificar información de forma eficaz entre dos o más factores, se constituyen anotando todos los niveles de una variable como filas y niveles de otra variable como columnas y después encontrando una frecuencia conjunta (Selvamuthu & Das, 2018). El uso de tablas de contingencia es aplicable en para varios campos de ciencia tales como biociencia, genética, economía y desempeño (Meselidis & Karagrorgiou, 2022). La creación de las tablas de contingencia depende de la necesidad del autor o del experimento para ordenar la información sin embargo una tabla de contingencia muy grande tendrá muchas celdas que resultarán en dificultades computacionales para las rutinas de optimización necesarias para la estimación (Das et al, 2018).

Tabla 5. Tabla de contingencia para disciplina y experiencia técnica en escritura.

Disciplina	Nivel de experiencia en redacción técnica		
	Principiante	Intermedio	Experto
STEM	10	13	35
Soc. Sci.	47	12	9
HUM	11	17	25

(Lam, 2014)

2.2.7. Six Sigma

Método establecido por el ingeniero Bill Smith miembro de la compañía Motorola en la década de 1980 para reducir radicalmente los defectos de los productos que se procesan en la planta.

En términos generales es un método que se basa en la recolección de datos y análisis de procesos que llevan a una cifra de 3.4 defectos por un millón de oportunidades, este sistema consta de 5 actividades o fases, por sus siglas en inglés DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) (Figura 6).

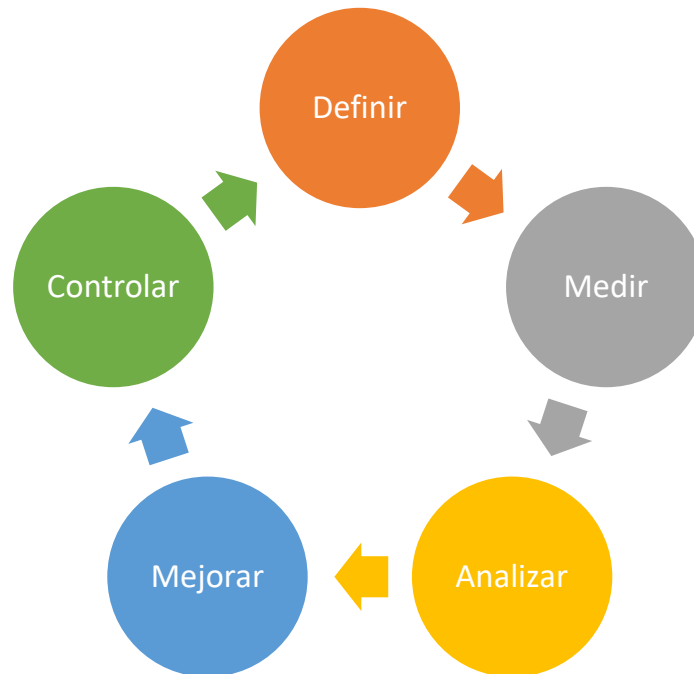


Figura 6. Metodología Six Sigma DMAIC (Marín, 2023)

a) Fase 1. Definir.

Se da por sentado el proceso que se evaluará por la dirección, así como el equipo de trabajo que realizará el proyecto, en esta misma fase se definen los objetivos de mejora.

b) Fase 2. Medir.

Se evalúa y se clasifica cada parte del proceso identificando las variables relacionadas con el mismo y posteriormente se miden.

c) Fase 3. Analizar.

Se analizan e interpretan los resultados de la medición, contrastando la situación actual con el historial del proceso. En esta fase es donde se averiguan las causas del problema,

d) Fase 4. Mejorar.

Se realizan acciones que se consideren necesarias para mejorar el proceso.

e) Fase 5. Control.

Se aplican medidas necesarias que garanticen la eficacia y continuidad del proceso de forma permanente.

Vazquez en su libro diseño de experimentos menciona que existen 3 principios para mejorar la eficiencia en la aplicación de esta metodología: aleatorización, replicación y formación de bloques, las cuales reducen el sesgo que existe en la experimentación ya que un sesgo elevado puede dar un falso valor positivo arrojando una configuración aparentemente óptima pero errónea (Vazquez, 2014).

La letra del alfabeto griego ***Sigma*** (σ) se usa generalmente para representar la desviación estándar (unidad estadística de medición), representa la variabilidad o dispersión de un conjunto de datos. Cuando se implementa Lean Six Sigma de manera efectiva, las organizaciones pueden mejorar la calidad de sus productos, ofrecer servicios superiores y reducir costos al mismo tiempo sin comprometer las necesidades del cliente (Marín Calderon, 2023).

A partir de esta metodología podemos encontrar otras derivadas como DMADOV (Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Optimizar y Verificar) o PDCA por sus siglas en inglés (Plan, Do, Check, Act.).

2.2.8. Las 4M en el control de cambios

Para la empresa ensambladora de vehículos en la cual se trabaja esta investigación pone por delante 4 de las 6 "M" indicadas por Ishikawa. Estas son descritas a continuación.

- a) Mano de Obra. Es todo acto que tiene como principal responsable al trabajador; todo personal que transporta construye, ensambla, inspecciona o realiza cualquier actividad que contribuya de alguna forma en un proceso.
- b) Máquina. Es la maquinaria que realiza un trabajo determinado o facilita la ejecución de una labor a una persona para un fin establecido conlleva estaciones de trabajo, herramientas, maquinaria, consumibles, artefactos, entre otros.
- c) Material. Es el material raíz, material secundario y partes compradas que serán manipuladas o transformadas en un proceso para la fabricación de un producto.
- d) Método. Es el procedimiento establecido por una compañía con un fin en específico que abarca desde fabricación y ensamble con instrucciones de trabajo hasta estándares operacionales para el flujo de un evento.

2.2.9. Norma IATF 16949

Es la norma del sistema de gestión de calidad automotriz. En la cual se establecen los requerimientos para el sistema de control de la calidad en las organizaciones que fabrican piezas de producción y piezas de servicio para la industria automotriz (IATF 16949, 2016).

2.2.10. ISO 9001:2015

Es la norma internacional a la que hace referencia el IATF 16949 en donde se dan más detalles de los requisitos a cumplir en el control de calidad para poder ser certificados en calidad de vehículo (Organización Internacional de Normalización, 2015).

2.2.11. Metodología Shainin

El enfoque de reducción de variables bajo la metodología Shainin es más sencillo que los otros enfoques DOE (Design of Experiments por sus siglas en inglés) existentes, sin embargo, es una poderosa colección de herramientas para proporcionar soluciones a los problemas industriales, (Naik et al., 2019). La metodología Shainin ofrece diferentes técnicas de evaluación de datos con las que es posible identificar el factor con mayor contribución a problemas con un grado de dificultad elevado para encontrar causas raíz lo que conlleva al aumento en la calidad del producto a través de mejoras en el proceso.

En la Tabla 6 observamos algunas de las diferentes herramientas bajo la metodología Shainin con relación al enfoque en el cual se puede enfocar una investigación y los posibles entregables:

Tabla 6. Tabla de métodos de análisis Shainin.

Enfoque	Entregables	Herramienta
Definir el problema a solucionar en términos de producto o proceso afectado	<ul style="list-style-type: none"> • Carta de proyecto • Diagrama de Pareto • Matriz de rotación de personal 	<ul style="list-style-type: none"> • 8D • 5W2H
Definición de "green Y". Verificar que el sistema sea capaz y confiable	<ul style="list-style-type: none"> • Green Y • Sistemas de medición • Estrategias de investigación 	<ul style="list-style-type: none"> • Isoplot • Transformación puntuación visual
Identificar "Red X" y cuantificar sus impactos en la variación de procesos.	<ul style="list-style-type: none"> • Red x • Pink X • Pale Pink X 	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de componente • Analysis Multivari • Delta Plot • Árbol de soluciones
Confirmación de "Red X"	<ul style="list-style-type: none"> • Red X confirmada • Soluciones potenciales 	<ul style="list-style-type: none"> • B vs C • Full factorial DOE • ANOVA • Búsqueda de variable

(Phelps, 2020)

3. PROCEDIMIENTO

3.1. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE EXPERIMENTO

La metodología propuesta por Dorian Shainin ofrece un flujo de trabajo a seguir en el que se van reduciendo las variables hasta encontrar el factor principal que participará para la mejora en la calidad del producto (Figura 7). El primer paso en esta investigación es la definición del proyecto, que es analizar y mejorar el sistema de control de cambios tanto planeados como no planeados dentro de un proceso de inyección de material, lo que nos lleva a determinar un método en el cual sea posible, cuantificablemente, medir el procedimiento de cambios para determinar si existe un área de oportunidad a fortalecer.

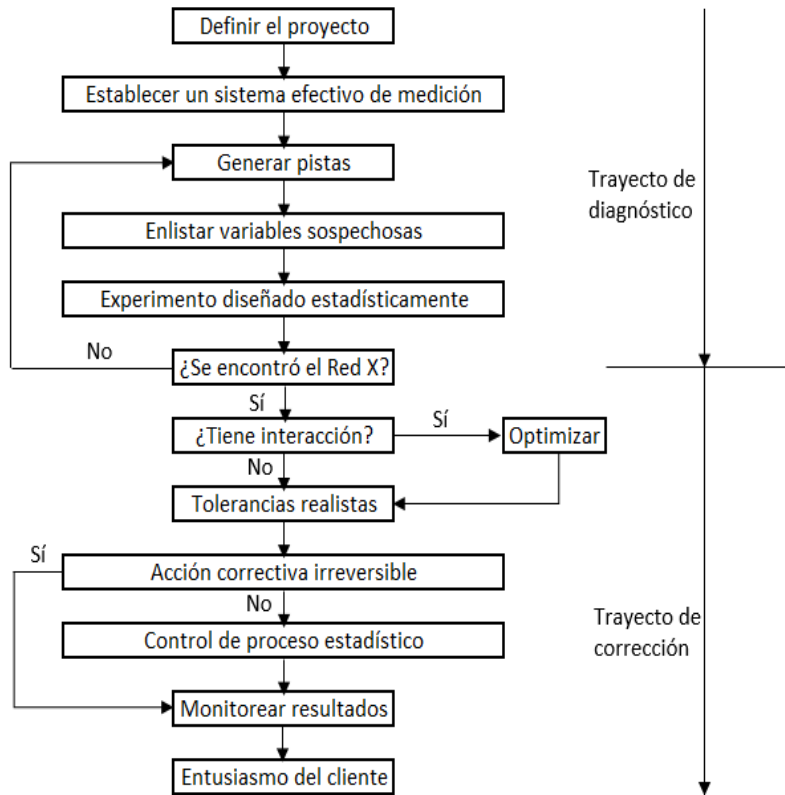


Figura 7. Metodología Shainin para mejora de calidad
Traducido al español de Khavekar, 2017

3.2. COLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Con la intención de obtener información acerca del control y flujo que se tiene ante eventualidades planeadas y sin planear, se plantearon diferentes escenarios con el soporte de diferentes grupos de personas relacionados de alguna manera con el proceso, personal de línea que son los que están al 100% en una estación de trabajo, líderes de producción, personal de calidad y la experiencia del autor, para que posteriormente esta información sea procesada y convertirla en valores que sean medibles, dando como resultado indicadores que permitan la ejecución de preguntas convirtiéndolas en variables (Martelo, Moncaris, y Vélez, 2016).

3.3. ORDEN Y DISTRIBUCIÓN

Para tener control y monitoreo sobre las variables generadas en los escenarios propuestos, la información obtenida se organiza y se separa respectivamente al tipo de M en un diagrama de factores o diagrama de Ishikawa.

Para la generación de preguntas y conseguir un valor lo más realista posible es necesario que sean simples, concretas y coherentes con la intención del trabajo, para ello después de la separación de variables por cada M, los escenarios son enlistados y filtrados por las posibles situaciones de control que deberían cubrir el escenario como se muestra en la Tabla 7. Con esto se identifica el factor común a controlar y se evita la duplicación de variables. También es necesario para definir con mayor certeza las áreas de oportunidad, que en las posibles situaciones de la industria automotriz pueden suceder, separar los escenarios por "cambios planeados" y "cambios no planeados" a través de una tabla de contingencia como se muestra en la Tabla 8. El uso de este tipo de tablas facilitará los estudios estadísticos para medir cuantitativamente. Una vez categorizados los tipos de cambio por los escenarios obtenidos se revisa el control que tiene el proceso ante esos escenarios y dependiendo del nivel de control asignarles una ponderación que pueda ser medible.

Tabla 7. Filtrado de escenarios por situación de control.

M	Escenario	9Control
---	-----------	----------

Elaboración propia

Tabla 8. Filtrado de escenarios planeados y no planeados por situaciones de control.

M	Escenario	Planeado	No planeado	Control
---	-----------	----------	-------------	---------

Elaboración propia

3.4. PONDERACIÓN

Una vez identificados los factores comunes por puntos de control en los escenarios propuestos se pueden generar las preguntas enfocadas a esos factores, donde la respuesta que se obtenga determinara el nivel actual de control, para este trabajo se asignaron 3 ponderaciones diferentes, explicados en la Tabla 9:

Tabla 9. Ponderación de respuestas a puntos de control.

Valor	Descripción
0	Cuando no existe algún control.
0.5	Cuando existe un control, pero se puede mejorar.
1	Cuando está controlado y difícilmente se puede mejorar.

Elaboración propia

Dado que esta investigación está enfocada en encontrar un área de oportunidad en la gestión de control de cambios del proveedor y no sobre un problema en específico que este sucediendo en el que se pretenda encontrar una causa raíz las variables no se irán eliminando, sino que se acomodaran de mayor a menor para encontrar el 80/20 del proceso de cambios que tendrían menor control. La reducción de variables para encontrar el factor dominante se hace a través de la puntuación que se obtenga en el escenario, de esta forma en lugar de eliminar variables, estas se denominan secciones con mayor control y menor control.

3.5. ESTUDIOS ESTADÍSTICOS

La metodología Shainin en sus diversas herramientas indica el gráfico de Isoplot para comparar el tamaño relativo del proceso con la variación en el sistema de medición (Gupta, 2016), donde la variación del sistema se representa por delta M (ΔM) y la variación del proceso en Delta P (ΔP), al dividir estos valores se determina la relación de discriminación o Discrimination ratio por su traducción al inglés, como se muestra en la Ecuación 4, si el resultado es mayor o igual a 6 entonces el método de medición es funcional, si es menor se requiere realizar un MSA (Measure System Analysis, por sus siglas en inglés) completo o bien aumentar ΔP y/o disminuir ΔM .

$$\text{Relación de discriminación} = \frac{\Delta P}{\Delta M} \geq 6$$

Ecuación 4. Ecuación para relación de discriminación.

Generalmente en la metodología Shainin se usa una herramienta visual para observar la relación de discriminación separando la variación del producto y el error de medición a través de una gráfica de dispersión llamada Isoplot, en el diagrama, las desviaciones horizontal y vertical representan la variación de medición general para las lecturas primera y segunda, respectivamente (Lozano, 2020).

Una vez establecido el método efectivo de medición, se pueden utilizar diferentes herramientas de análisis estadístico para la interpretación de los datos como el uso de la media mostrada en la Ecuación 5, y la desviación estándar mostrada en la Ecuación 6, así como también la representación de tendencias por gráficos lineales y el conjunto de valores porcentuales en una curva de distribución para ordenar cada factor de manera descendente.

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_n}{N}$$

Ecuación 5. Ecuación de media.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Ecuación 6. Ecuación de desviación estándar.

Para realizar el proceso de separación el método de Shainin usa familias de causas de variación, los cuales son grupos de variables de entrada de proceso que actúan en el mismo lugar y en el mismo lapso (Khavekar, 2017). Por lo cual teniendo identificadas las secciones con mayor flaqueza se busca algún patrón o algún factor común para las áreas con menor control que estén relacionadas a las "M" analizadas en este trabajo.

Teniendo ahora una dirección hacia donde enfocar los recursos en base a los resultados obtenidos, se busca uno o más contribuidores clave para mejorar la condición actual a través del ejercicio de búsqueda de variables "B vs C".

3.6. BÚSQUEDA DE VARIABLE B VS C

En una aplicación del sistema Shainin Red X donde se tiene una pieza considerada como la mejor de la mejor y una pieza de la condición actual, en el sistema lo describe como "B vs C", donde la "B" por sus siglas en inglés "Best" es la mejor pieza y la letra "C" por sus siglas en inglés es "Current" que es la pieza actualmente sospechosa o con mayor rechazo (Shainin, 1992). La importancia de esta parte de este estudio es corroborar que la información colectada es representativa para la investigación, siendo capaz de analizarse y de obtener un conjunto de valores certeros. Para la aplicación de esta metodología en un sistema de 4M no permite una comparación de tipo "B vs C" como lo estableció Dorian Shainin ya que el método de control de 4M de los proveedores varía en función de las normativas de cada empresa, sin embargo, la Norma IATF 16949 indica los requerimientos generales que debe cubrir para el control de cambios en el proceso o el producto, con esta normativa y las subsecuentes que la constituyen, como la norma ISO 9001:2015, y en base a las preguntas generadas para la colección de información

se determinó que el puntaje máximo que se puede obtener con este diagrama representará la condición "B" y el puntaje obtenido durante la evaluación del proceso se considera la condición "C".

Para fines prácticos la condición "B" representa la condición "ideal" de la gestión de control de cambios de 4M y la condición "C" representa la condición "actual". El intercambio constara de reemplazar los valores de la condición actual cuya pregunta haya tenido menor puntaje en la condición ideal sobre la misma pregunta, como lo indica la Ecuación 7, es la sumatoria de los valores absolutos de la diferencia de medios de la condición ideal y la actual, haciendo una representación gráfica para determinar visualmente si el valor reemplazado convierte la condición actual en una condición ideal o lo más cercano a ella.

$$\text{Contribución} = |(\bar{x}_i - \bar{x}_a)| + |(\bar{y}_i - \bar{y}_a)|$$

Ecuación 7. Ecuación de contribución de factores.

Si el ejercicio no arroja que la condición actual se puede mejorar con las preguntas seleccionadas, entonces se añadirá otro valor al reemplazo que también haya sido identificado con un puntaje bajo. y así progresivamente. Si el intercambio arroja que la condición actual se convierte en ideal entonces el ejercicio fue satisfactorio y los factores a controlar y mejorar ahondaran sobre los procedimientos, estándares y todo lo que conlleve el resultado de esas preguntas en específico.

3.7. ÁRBOL DE SOLUCIONES

Se usa un árbol de solución de proyecto para ir siguiendo una secuencia e ir descartando contribuidores que se analizaron o que no se analizaron ya que no representan relevancia significativa, ejemplo como el que se muestra en la Figura 8 (Kosina, 2015).

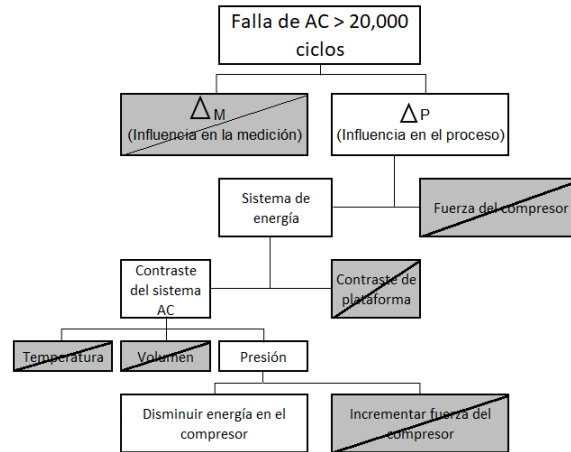


Figura 8. Árbol de soluciones
(Traducido al español de Kosina, 2015)

Este diagrama es un diagrama vivo ya que se actualiza conforme avanza la investigación hasta su conclusión.

3.8. PRIMERO, SEGUNDO Y TERCER CONTRIBUIDOR

En confirmación a lo que se ha mencionado anteriormente y sabiendo que el control de 4M influye directamente a la calidad y control de un producto, el medir el índice de rechazo en cuanto garantías donde involucra al cliente final directamente puede tomar meses e incluso años debido a que, una vez vendido el vehículo, el cliente no está obligado a ir a la agencia de vehículos de la marca manufacturera para revisión y reparación, así como también la resolución del problema que el cliente final este teniendo puede tener diferentes factores en los que involucren a las partes analizadas en esta investigación y que puede alterar los resultados, dicho esto, para esta investigación se usaran los registros históricos de problemas de calidad en los procesos de inyección de las manijas de resinas y mangueras de goma, para determinar si la causa de esos problemas están relacionados y pueden ser solucionados de raíz con el cambio en factor dominante encontrado por el análisis factorial previamente realizado.

De ser positiva la comparación podríamos decir que el resultado del estudio fue efectivo, por otro lado, si no hace correlación, se necesitaría volver a generar escenarios y coleccionar nuevamente información de control para realizar el estudio estadístico con nuevos factores de entrada.

El diagrama de flujo del análisis para esta investigación se resumió como se muestra en la Figura 9.

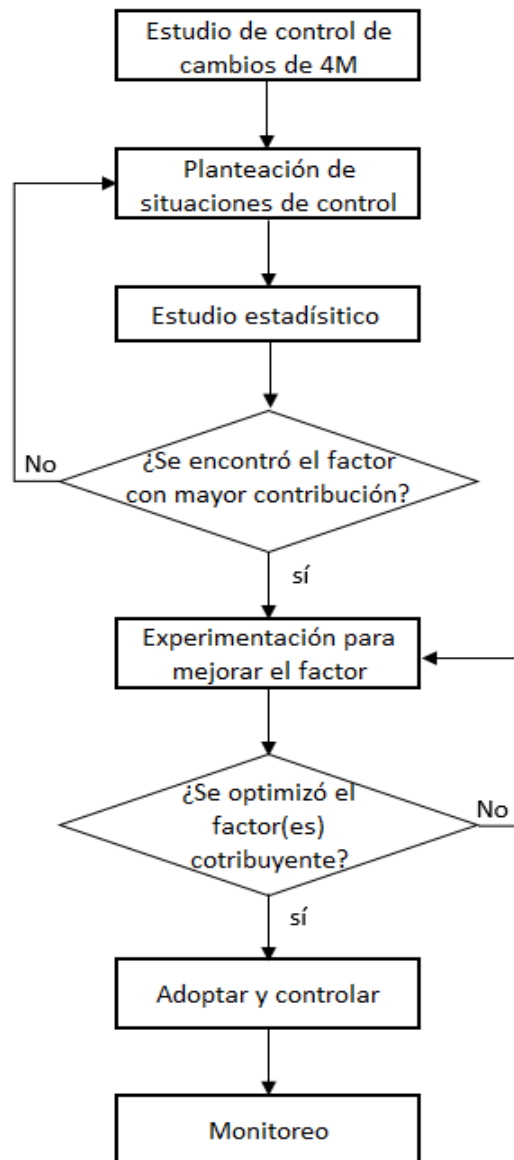


Figura 9. Diagrama de flujo para medición de 4M en procesos de inyección
Elaboración propia

4. RESULTADOS

4.1. ESCENARIOS DE CONTROL – COLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la creación de las situaciones de control es necesario crear escenarios que representan cambios planeados y no planeados en el proceso de inyección y poder medir el control que se tiene en ellos por lo que, en colaboración con el personal de línea del proceso y sus líderes, se colectaron diferentes escenarios basados en la experiencia del proveedor, operadores y lecciones aprendidas con anterioridad por temas de calidad, como se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Colección de datos
Elaboración propia

Posteriormente estos escenarios fueron organizados en un diagrama de Ishikawa separadas por los rubros de “Mano de obra”, “Máquina”, “Método” y “Material”, como se muestra en la Figura 11.

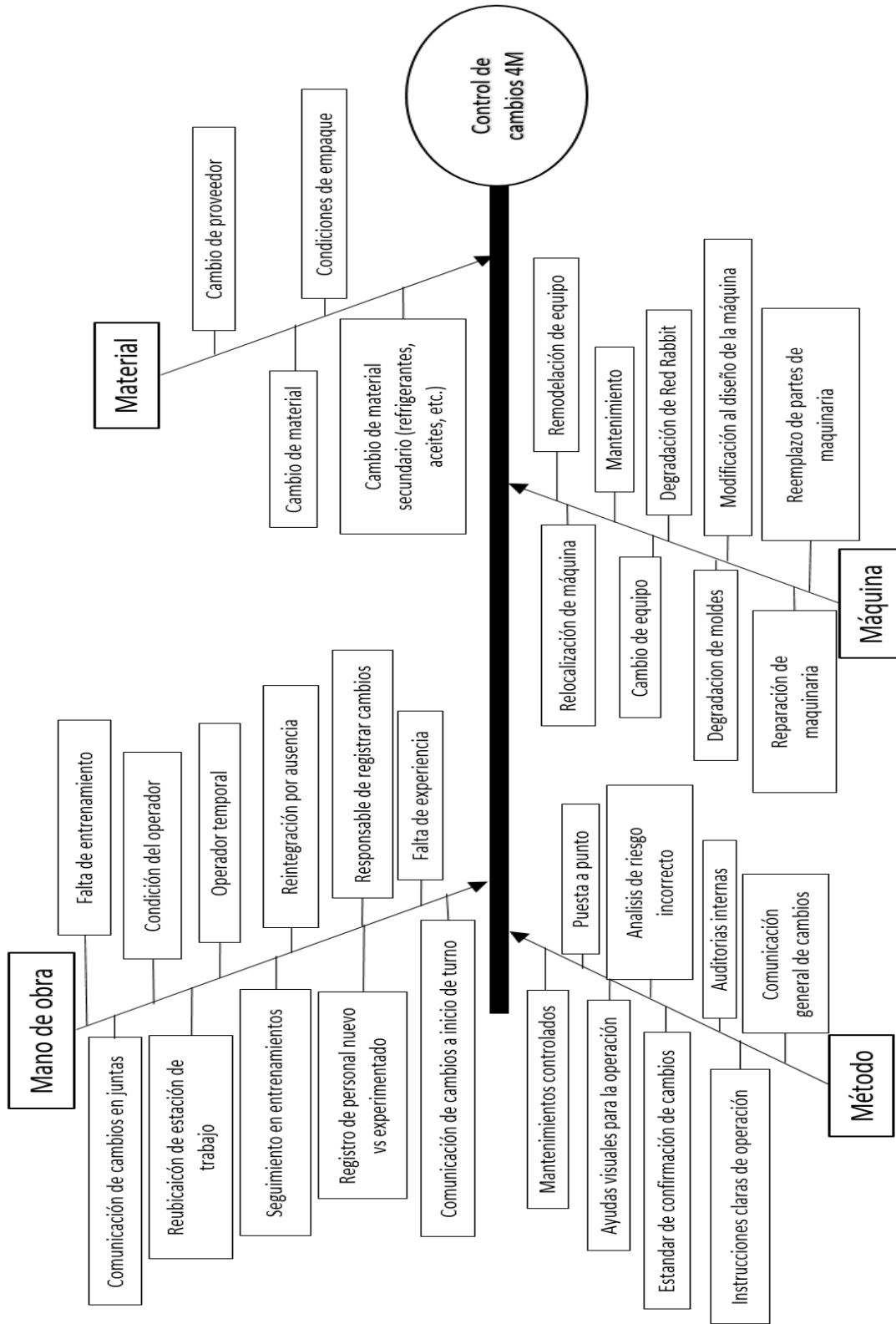


Figura 11. Diagrama de Ishikawa
Elaboración propia

Una vez colectadas las situaciones generales por cada "M" se realiza una tabla donde se enlistan los escenarios y por cada escenario se determinan si es atribuible a un cambio planeado o sin planear, y en esta misma tabla se enlistan los controles que podrían contener esa situación como se muestra en la Tabla 10 a continuación:

Tabla 10. Factores que controlar por escenario.

M	Escenario	Planeado	No planeado	Control
Mano de obra	Comunicación de cambios en juntas	=		Procedimiento estándar
	Falta de entrenamiento	=		Matriz de habilidades
	Reubicación de estación de trabajo	=	=	Matriz de habilidades
				Hojas de operación
				5'S
	Condición del operador		=	Junta inicio de turno
	Operador temporal	=	=	Matriz de habilidades
				5'S
				Hojas de operación
	Seguimiento en entrenamientos	=		Matriz de habilidades
	Reintegración por ausencia	=		Matriz de habilidades
				Hojas de operación
	Registro de personal nuevo vs experimentado	=		Procedimiento estándar
Responsable de registrar cambios	=		Procedimiento estándar	
Comunicación de cambios a inicio de turno	=		Junta inicio de turno	
			Procedimiento estándar	
Falta de experiencia	=		Matriz de habilidades	
Método	Mantenimientos controlados	=		Procedimiento estándar
				Hojas de operación
				Tiempo de vida de herramienta
	Puesta a punto	=		Procedimiento estándar
				Matriz de habilidades

	Ayudas visuales para la operación	=		Hojas de operación
				5'S
	Estándar de confirmación de cambios	=		Procedimiento estándar
				Escalación
				Junta inicio de turno
				Análisis de riesgo
	Instrucciones claras de operación	=		Hojas de operación
	Análisis de riesgo correcto	=	=	Análisis de riesgo
Escalación				
Auditorías internas	=		Procedimiento estándar	
Comunicación general de cambios	=	=	Escalación	
			Junta inicio de turno	
			Procedimiento estándar	
Material	Cambio de proveedor	=	=	Análisis de riesgo
				Escalación
				Junta inicio de turno
	Condiciones de empaque	=		Análisis de riesgo
				Procedimiento estándar
	Cambio de material	=	=	Análisis de riesgo
				Escalación
				Junta inicio de turno
Intención de diseño				
Cambio de material secundario	=	=	Análisis de riesgo	
			Escalación	
			Junta inicio de turno	
Máquina	Remodelación de equipo	=		Análisis de riesgo
				Intención de diseño
				Matriz de habilidades
				Procedimiento estándar
	Relocalización de máquina	=		Junta inicio de turno
				Procedimiento estándar
	Cambio de equipo	=		Junta inicio de turno
	Mantenimiento	=		Procedimiento estándar

				Hojas de operación
				Tiempo de vida de herramental
	Degradación de moldes	=	=	Tiempo de vida de herramental
				Hojas de operación
	Degradación de Red Rabbit	=	=	Tiempo de vida de herramental
				Hojas de operación
	Reparación de maquinaria			=
				Procedimiento estándar
	Modificación al diseño de la máquina	=		
				Escalación
				Procedimiento estándar
	Reemplazo de partes de maquinaria	=	=	
Tiempo de vida de herramental				
Junta inicio de turno				
				Procedimiento estándar

Elaboración propia

Podemos observar que los factores a controlar tienen repetición en los escenarios recolectados por lo que pueden filtrarse con la intención de no duplicar variables e identificar con mayor certeza áreas de oportunidad en estos procesos de producción. Los factores después del filtro se resumen en la Tabla 11, por lo que la búsqueda tendrá mayor enfoque a como la gestión de cambios del proveedor controla estas variables.

Tabla 11. Factores de control de los escenarios recolectados.

Control
Procedimiento estándar
Matriz de habilidades
Hojas de operación
5'S
Junta inicio de turno
Tiempo de vida de herramental
Escalación
Análisis de riesgo
Intención de diseño
Elaboración propia

Para la búsqueda de valores cuantitativos se realizaron incógnitas referentes a los factores de control anteriores y la evaluación por el diseño del experimento mostrado en la tabla (tabla de valores del DOE), durante la evaluación en el proceso de inyección se realizaba cada incógnita y por la respuesta obtenida se cotejaba contra lo real en el estándar del proveedor. Para este paso se decidió usar a ambos procesos en una misma tabla, en este caso el proceso que inyecta resina para las manijas se le denominó con la letra "S" y el proceso que inyecta mangueras de drenado se le denominó con la letra "T", además de esto para facilitar el análisis estadístico en la misma tabla se tienen las columnas "BOB" que representa la mejor condición o el puntaje máximo a obtener para cada pregunta, teniendo el encabezado como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Encabezado de tabla de valores.

Factor	Control	Decisión			
		BOB	S1	S2	T1

Elaboración propia

4.2. OBTENCIÓN DE VALORES

A continuación, se muestran las incógnitas generadas como puntos a controlar para cada factor de cambio descrito anteriormente. Como se mencionó en la metodología cada incógnita puede tener 3 posibles respuestas diferentes, 1, 0.5 o 0, este valor es determinado por el nivel de control que el proceso tiene ante la incógnita, 1: representa que la situación está totalmente controlada y las áreas de oportunidad son escasas; 0.5: representan que la situación es descrita o hace mención de alguna forma en los procedimientos, hojas de instrucción o control que se tenga; 0: representa que no hay acción para el punto de control.

4.2.1. Hojas de operación

Tabla 13. Tabla de valores por hojas de operación

Factor	No	Control	Decisión					
			BOB	S1	S2	T1	T2	
Hojas de operación	1	¿Están claros los materiales y componentes que se utilizarán en cada puesto de trabajo?	1	1	1	1	1	1
	2	¿Está claro el procedimiento de trabajo que se lleva a cabo en cada estación de trabajo?	1	1	1	1	1	1
	3	En el caso de una condición anormal, ¿se aísla inmediatamente el material en proceso?	1	1	1	1	0.5	1
	4	El material en stock no conformante ¿se identifica y se aísla?	1	1	1	1	1	1
	5	¿Los operadores trabajan igual que las instrucciones de trabajo?	1	1	1	1	1	1
	6	En el sistema visual de control de cambios ¿especifica el tipo de M, cual fue el cambio, contramedida y responsable?	1	1	0.5	0.5	0.5	0
	7	¿Los resultados de la gestión de cambios se registran en tiempo real?	1	1	1	0.5	0.5	0.5
	8	¿El sistema visual de control de cambios llama de alguna forma al análisis de riesgo elaborado para ese cambio?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	9	¿El sistema visual de control de cambios es claro y de fácil y rápida comprensión?	1	1	1	1	1	0.5

Elaboración propia

4.2.2. Procedimiento estándar

Tabla 14. Tabla de valores por procedimiento estándar.

Factor	No	Control	Decisión					
			BOB	S1	S2	T1	T2	
Procedimiento estándar	10	En condiciones normales, los elementos de control de la instalación, elementos de inspección, procedimiento de inspección, frecuencia de inspección ¿son claros?	1	1	1	1	1	1
	11	¿Se realiza la inspección inicial de las instalaciones en cada estación de trabajo?	1	1	1	1	1	1
	12	¿El efecto y la gravedad causados por estos "Cambios planeados" y "Cambios no planeados" se explican sistémicamente a los trabajadores?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	13	¿Están claramente definidos el procedimiento y la persona responsable (departamento) para el "Cambio planeado" y el "Cambio no planeado"?	1	1	0.5	0.5	0.5	1
	14	¿Se tiene un estándar que define la gestión de cambios de 4M?	1	1	1	1	0.5	0.5
	15	¿Se entrena a los subproveedores para la gestión de cambios de 4M?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	16	¿El "cambio planeado" y el "cambio no planeado" se visualizan en el panel de gestión de cambios de 4M?	1	1	1	0.5	0.5	0
	17	¿Se mantienen registros de gestión de cambios planeados y "Cambios no planeados"?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	18	La acción "Détente avisa y Espera" ¿se conoce en los trabajadores y esta estandarizado en el proceso?	1	1	0.5	1	1	1
	19	En una contención por un cambio no planeado ¿la confirmación de producto sospechoso se realiza de manera retroactiva en el proceso y en el material de stock?	1	1	1	1	1	1
	20	¿El plan de control de producción y la instrucción de trabajo tiene coherencia?	1	1	1	0.5	0.5	0.5
	21	¿Se tiene implementada una estrategia para mantener la habilidad del operador para procesos múltiples? (por ejemplo, rotación de trabajos, capacitación, etc.)	1	1	1	1	1	0.5
	22	¿En el entrenamiento a los trabajadores se hace referencia a cambios tanto "planeados" como "no planeados"?	1	1	0	0	0	0
	23	¿Los ejemplos de "cambios planeados" y "cambios no planeados" se enumeran en	1	1	0	0	0	0

	el documento estándar de gestión de cambios?						
24	¿Existe un sistema de mantenimiento preventivo para los controles y herramientas?	1	1	1	1	1	1
25	¿Existe un sistema de auditorías hacia subproveedores para la gestión de cambios?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
26	¿Existe un sistema de visual posteo en la línea de producción específicamente para la gestión de cambios de 4M?	1	1	1	1	0.5	0.5
27	¿La inspección retroactiva de las piezas se lleva a cabo en el momento en que se reporta una condición anormal y abarca los siguientes criterios? ①clasificación de piezas Ok y No Ok ②Definición de una ventana sospechosa de producto no conforme.	1	1	1	1	0.5	1

Elaboración propia

4.2.3. 5's

Tabla 15. Tabla de valores por 5'S.

Factor	No	Control	Decisión					
			S1	S2	T1	T2		
5'S	28	¿Solo las piezas, los productos y las herramientas necesarias para producir el lote actual están ordenadas en la estación de trabajo? No hay cosas innecesarias en la estación de trabajo	1	1	1	1	1	0.5
	29	¿Se tiene en la línea una gestión de herramientas y piezas como "Ubicación correcta", "Artículos correctos" y Cantidad correcta?	1	1	1	0.5	1	0.5
	30	¿Las piezas y las herramientas son colocadas por los trabajadores en orden, en una ubicación definida, con una cantidad definida?	1	1	0.5	1	0.5	1
	31	¿La matriz de habilidades se visualiza en el mapa de asignación de operadores para la producción?	1	1	1	1	1	1
	32	¿Los medidores se ubican donde es fácil de verificar? (presión, voltaje, cantidades, etc.)	1	1	1	1	1	1
	33	¿Los indicadores están señalizados con color?, por lo que es fácil juzgar OK, NG	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	34	¿La ubicación de las piezas no conformes, la ubicación de las piezas buenas y la ubicación de las piezas pendientes están claramente separadas? No hay posibilidad de mezclar.	1	1	1	1	1	1

Elaboración propia

4.2.4. Matriz de habilidades

Tabla 16. Tabla de valores por matriz de habilidades.

Factor	No	Control	Decisión					
			S1	S2	T1	T2		
			BOB					
Matriz de habilidades	35	¿Se preparan más de 2 operadores bien capacitados (más de nivel L) para cada estación de trabajo? (excepto el líder del equipo y supervisor)	1	1	1	1	1	1
	36	¿La capacitación de los operadores se lleva a cabo sistemáticamente?	1	1	1	1	1	1
	37	¿El cambio planeado y no planeado se explican con un ejemplo a los trabajadores?	1	1	0.5	0	0.5	0
	38	¿Los ejemplos de cambios planeados y no planeados son claros?	1	1	0	0	0	0
	39	¿Cada persona relacionada entiende claramente un "cambio planeado" y "un cambio no planeado"?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	40	¿El proveedor puede detectar por sí mismo defectos causados por cambios planeados y no planeados?	1	1	1	1	1	1
	41	En caso de que se presenten condiciones anormales en las instalaciones o en el producto, ¿se detectan correctamente?	1	1	0.5	0.5	1	1
	42	¿La acción "Detente, avisa y espera" se realiza correctamente?	1	1	1	1	1	1
	43	¿Existe un programa para el aumento de habilidades del operador? Siempre se mantienen más de 2 operadores calificados.	1	1	1	1	1	1
	44	¿El proveedor N entiende y aplica los criterios de gestión de cambios de 4M del proveedor 1?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5

Elaboración propia

4.2.5. Intención de diseño

Tabla 17. Tabla de valores por intención de diseño.

Factor	No	Control	Decisión					
			S1	S2	T1	T2		
Intención de Diseño			BOB					
	45	Respecto a la calidad del producto afectada por el "cambio planeado" y "no planeado" ¿se aclaran las características de calidad que el control de calidad debe confirmar?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	46	¿El proveedor modifica el proceso si en el resultado de la confirmación de calidad las características funcionales del producto están dentro de especificación por dibujo, pero no son iguales a las de antes del cambio?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	47	En caso de un producto no conforme, ¿se detendrá la producción y se corregirá el producto y el proceso de inmediato?	1	1	1	1	1	1
	48	¿Están definidas las condiciones para reiniciar la producción?	1	1	1	1	1	1
	49	¿El sistema de auditorías internas contempla las condiciones de la parte en confirmación con las especificaciones del dibujo de ingeniería?	1	1	0	0	0	0.5
50	Si es necesario, se realizará una confirmación de calidad del nivel del sistema o del vehículo (a consideración del cliente final).	1	1	1	1	1	1	

Elaboración propia

4.2.6. Análisis de riesgo

Tabla 18. Tabla de valores por análisis de riesgo.

Factor	No	Control	Decisión					
			S1	S2	T1	T2		
			BOB					
Análisis de riesgo	52	¿La confirmación de la calidad del producto se lleva a cabo para confirmar la igualdad entre el producto antes y después del cambio?	1	1	1	0.5	1	1
	53	¿Se monitorean los datos de gestión de procesos, los datos de calidad del producto y se mantienen estos registros?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	54	¿Las inquietudes y acciones como "Riesgo, contramedida, confirmación de calidad, elementos de inspección" se investigan con el departamento relacionado?	1	1	1	1	1	1
	55	¿Los resultados de la investigación se registran en un documento de seguimiento interno y se obtiene el acuerdo del departamento relacionado sobre el documento?	1	1	1	1	1	1
	56	¿El análisis de riesgo confirma que no hay diferencia de calidad (o es incluso mejor) entre el producto antes del cambio y después del cambio?	1	1	1	1	1	1
	57	¿El análisis de riesgo implica realizar pruebas con piezas físicas?	1	1	1	1	1	1

Elaboración propia

4.2.7. Escalación

Tabla 19. Tabla de valores por escalación.

Factor	No	Control	Decisión					
			S1	S2	T1	T2		
Escalación	58	En caso de un "cambio planeado" o "cambio no planeado", ¿el proveedor notifica al departamento relacionado?	1	1	1	1	1	
	59	¿Hay un departamento especial asignado para proceder y controlar el progreso para la gestión del cambio?	1	1	1	1	1	
	60	¿El "cambio planeado" y el "Cambio no planeado" se informan correctamente al cliente?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	61	¿Se informa el resultado de la confirmación de la calidad del producto al representante de control de calidad?	1	1	1	1	1	1
	62	¿La comunicación y escalación para condiciones anormales se realiza de manera correcta?	1	1	1	1	1	1
	63	¿La persona responsable de decidir reiniciar la producción está claramente autorizada?	1	1	1	1	1	1
	64	¿El líder en el proceso de producción notifica al departamento relacionado?	1	1	1	1	1	1
	65	¿Se toman decisiones con los departamentos involucrados? (producción, calidad, diseño, gerencia)	1	1	1	1	1	1
	66	¿La acción correctiva se realiza inmediatamente?	1	1	1	1	1	1

Elaboración propia

4.2.8. Junta de inicio de turno

Tabla 20. Tabla de valores por junta de inicio de turno.

Factor	No	Control	Decisión					
			S1	S2	T1	T2		
Junta inicio de turno	67	¿El proveedor confirma "Cambio planeado" y "Cambio no planeado" en cada proceso todos los días?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	68	¿La información de "Cambio planeado" y "Cambio no planeado" de 4M se comparte cada inicio de turno en la reunión de QRQC o equivalente?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	69	¿Los registros se guardan y se reportan a la alta dirección?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	70	¿La información de "Cambio planeado" y "Cambio no planeado" de 4M se confirma en junta de QRQC de manera diaria y cada turno?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	71	¿El resultado de la gestión de cambios del turno anterior se informa en junta de QRQC?	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
	72	¿La verificación y la inspección se realizan correctamente como la hoja de operación lo indica?	1	1	1	1	1	1
	73	¿Las operaciones para comunicar información sobre cambios se realizan como operaciones diarias en el proceso de producción?	1	1	0	0	0	0
	74	¿Se confirma por parte del jefe inmediato que el trabajador este apto para laborar en las juntas de inicio de turno, QRQC o equivalente?	1	1	0.5	0	1	0.5
75	Las piezas no conformes se indican con etiqueta, pintura, etc. para cada una de ellas.	1	1	1	1	1	1	

Elaboración propia

4.2.9. Tiempo de vida del herramental

Tabla 21. Tabla de valores por tiempo de vida del herramental.

Factor	No	Control	Decisión				
			S1	S2	T1	T2	
			BOB				
Tiempo de vida de herramental	76	¿El producto no conforme se detecta correctamente a través de controles robustos? (por ejemplo: Pokayokes, sistemas automáticos, sensores)	1	1	1	1	1
	77	¿El mantenimiento preventivo toma en cuenta la vida y el uso de la herramienta o dispositivo?	1	1	0	0	1
	78	¿El mantenimiento preventivo y/o correctivo contempla una validación de producto y que el resultado este en el valor nominal por dibujo de ingeniería?	1	1	0	0	1
	79	¿Las condiciones de producción antes y después del cambio son monitoreadas y registradas?	1	1	1	1	1

Elaboración propia

4.3 ESTUDIO ESTADÍSTICO

4.3.1 Discriminación del sistema de medición

La sumatoria de los valores obtenidos por factor para cada pregunta se muestra en la Tabla 22 donde se observa el valor que se puede obtener en la mejor condición y la condición actual para cada factor, por la metodología usada es necesario que el ejercicio se realice dos veces, primero la realizó el proveedor dueño del proceso y la segunda el aplicador de este experimento, aquí mismo se puede obtener la media de los valores.

Tabla 22. Sumario de valores para factores de control.

Factor	Valor mínimo	Σ BOB	Σ S1	Σ S2	Media "S"	Σ T1	Σ T2	Media "T"
Hojas de operación	0	9	8	7.5	0.861111	7	6.5	0.75
Procedimiento estándar	0	18	13	12.5	0.708333	11	11	0.611111
5'S	0	7	6	6	0.857143	6	5.5	0.821429
Intención de Diseño	0	6	4	4	0.675	4	4.5	0.725
Tiempo de vida de herramental	0	4	2	2	0.892857	4	4	0.928571
Matriz de habilidades	0	10	7	6.5	0.666667	7.5	7	0.708333
Análisis de riesgo	0	7	6.5	6	0.5	6.5	6.5	1
Escalación	0	10	9.5	9.5	0.527778	9.5	9.5	0.583333
Junta inicio de turno	0	9	5	4.5	0.944444	5.5	5	0.944444

Elaboración propia

Usando la ecuación para la relación de discriminación, obtenemos el valor de 8.51, lo cual de acuerdo con el criterio de rechazo establecido por la metodología Shainin si es mayor de 6 nos indica que el método de medición es efectivo (Ecuación 8).

$$DR = \frac{\Delta P}{\Delta M} = \frac{18}{2.115} = 8.51$$

Ecuación 8. Comprobación de DR.

La comprobación de la efectividad del sistema elaborado por la Ecuación 8 se visualiza en el Isoplot generado en la Figura 12 y en la Figura 13 donde por cada proceso de inyección, respectivamente, la población de valores obtenidos se encuentra dentro del rango de discriminación delta M y delta P.

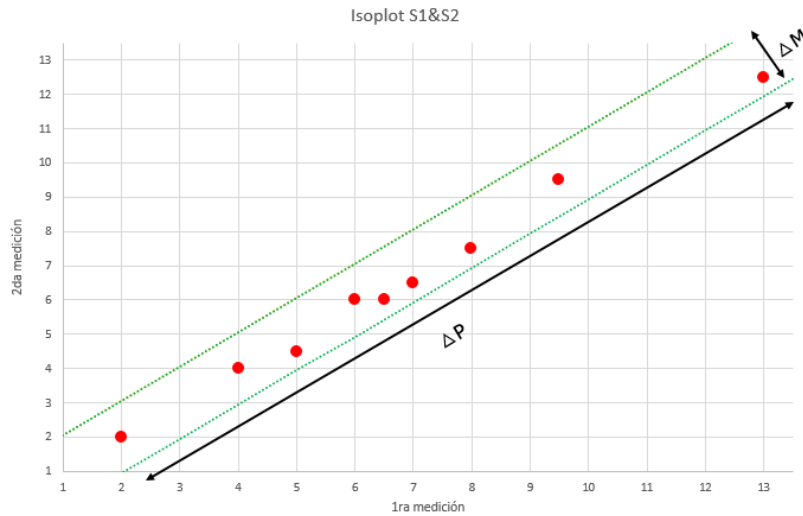


Figura 12. Isoplot de S1 y S2
Elaboración propia

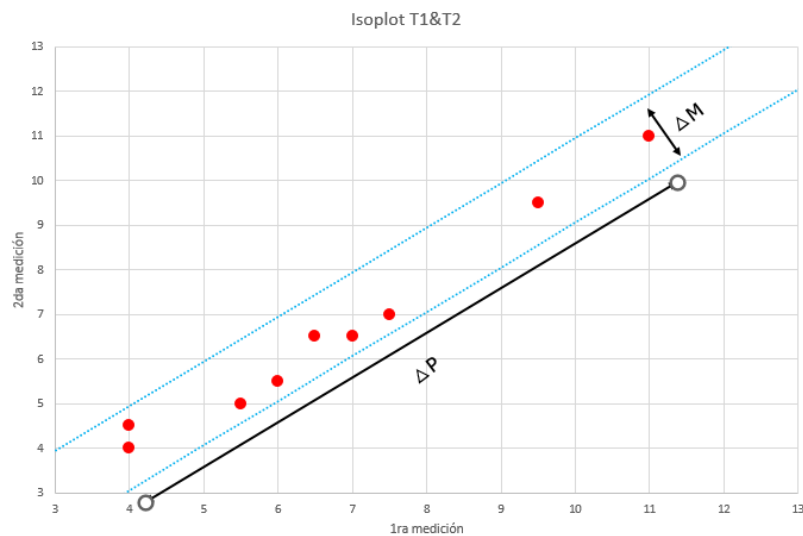


Figura 13. Isoplot de T1 y T2
Elaboración propia

4.3.2. Distribución y desviación estándar

Una vez confirmado el método de medición como efectivo, se continua con el estudio estadístico para determinar el factor que tiene más oportunidad de control para favorecer la gestión de cambios. Para ello, usando los datos obtenidos anteriormente, se trabajó con la media (Ecuación 5) para obtener la desviación

estándar (Ecuación 6) y realizar un diagrama de distribución indicando que valores están más próximos a la condición ideal y cuales están más lejanos.

Tabla 23. Conjunto de medias y desviación estándar.

	Media "S"	Desviación. estándar "S" σ	Media "T"	Desviación estándar "T" σ
Hojas de operación	0.8611	0.23044	0.7500	0.30917
Procedimiento estándar	0.7083	0.34589	0.6111	0.34040
5'S	0.8571	0.23440	0.5556	0.24862
Matriz de habilidades	0.6750	0.37257	0.7250	0.37957
Análisis de riesgo	0.8929	0.21290	1.0000	0.18156
Intención de Diseño	0.6667	0.38924	0.7083	0.33427
Tiempo de vida de herramental	0.5000	0.53452	1.0000	0
Junta inicio de turno	0.5278	0.31956	0.5833	0.30917
Escalación	0.9444	0.16169	0.9444	0.16169

Elaboración propia

Para el proceso de inyección de manijas tenemos que la desviación estándar más grande se encuentra en el "Tiempo de vida del herramental" y le sigue el factor de "intención de diseño" y "matriz de habilidades" mientras que en el proceso de inyección de mangueras la desviación estándar más grande se encuentra en el factor de "matriz de habilidades", luego "procedimiento estándar" y finalmente "intención de diseño" (Figura 14 y Figura 15).

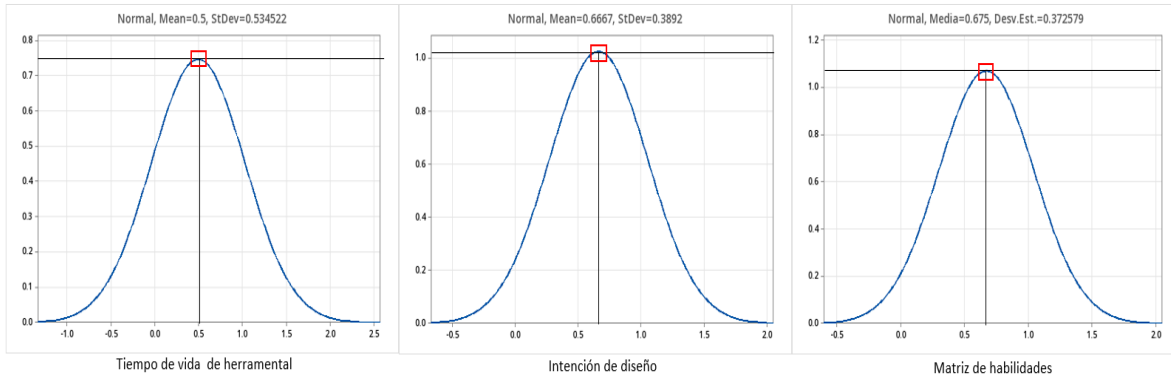


Figura 14. Gráfica de distribución de factores con mayor contribución en el control de cambios de 4M de un proceso de inyección de manijas
Elaboración propia

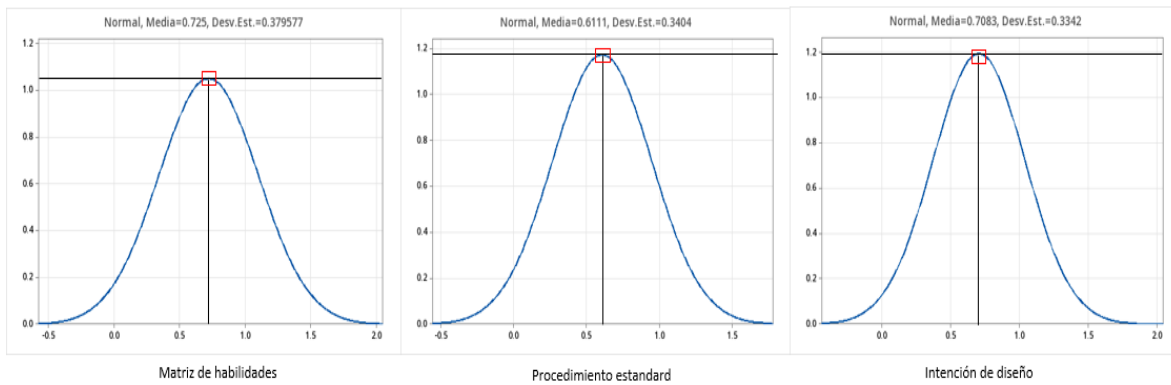


Figura 15. Gráfica de distribución de factores con mayor contribución en el control de cambios de 4M de un proceso de inyección de mangueras
Elaboración propia

4.3.3 Pareto y diagrama de tendencia

Si se graficaran los valores obtenidos de la encuesta directamente en un diagrama de Pareto arrojaría un gráfico que no es certero debido a que la cantidad de puntaje aumenta en relación con las preguntas realizadas, por lo tanto, el diagrama se realiza a través de la media obtenida por los factores de control.

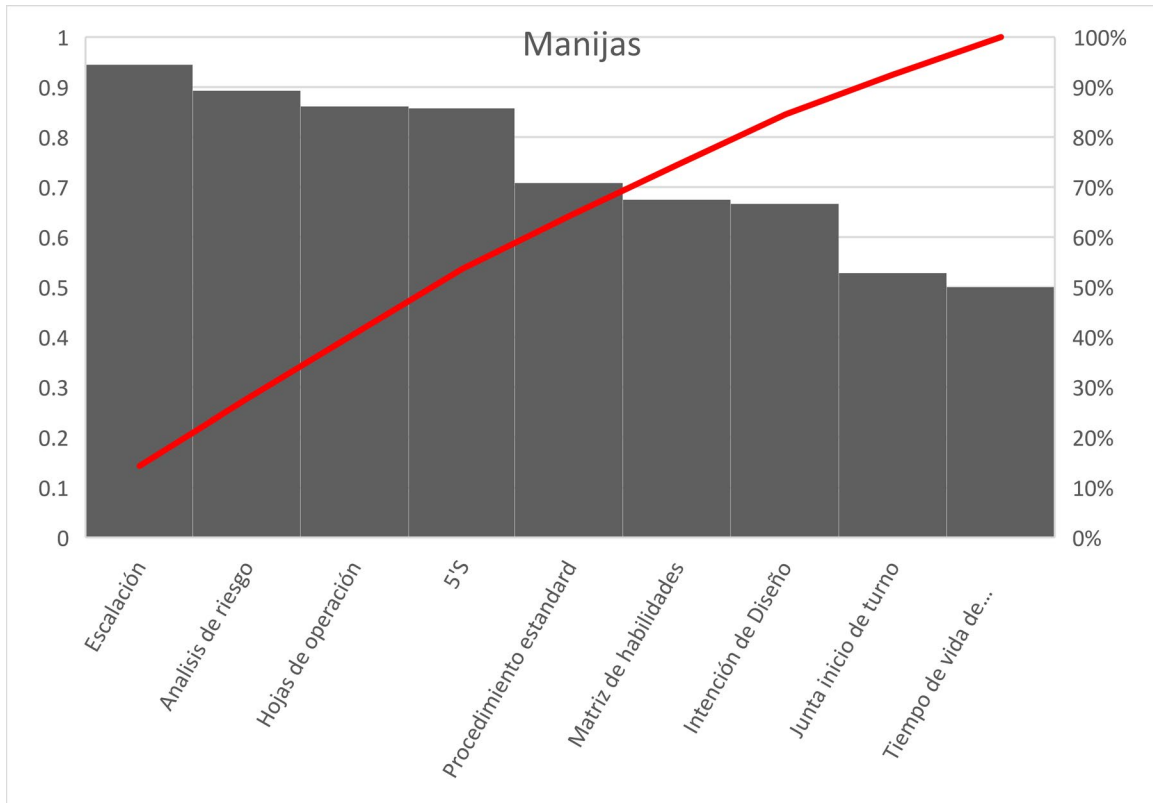


Figura 16. Gráfica de Pareto en la obtención de datos para inyección de manijas
Elaboración propia

Podemos apreciar tanto en la Figura 16 como en la Figura 17 que tienen comportamientos similares sin embargo es notable una diferencia en el control del tiempo de vida de la herramienta y en el control de procedimientos estándar, esta diferencia puede apreciarse más fácilmente en la gráfica de tendencia de cada proceso (Figura 18 y Figura 19).

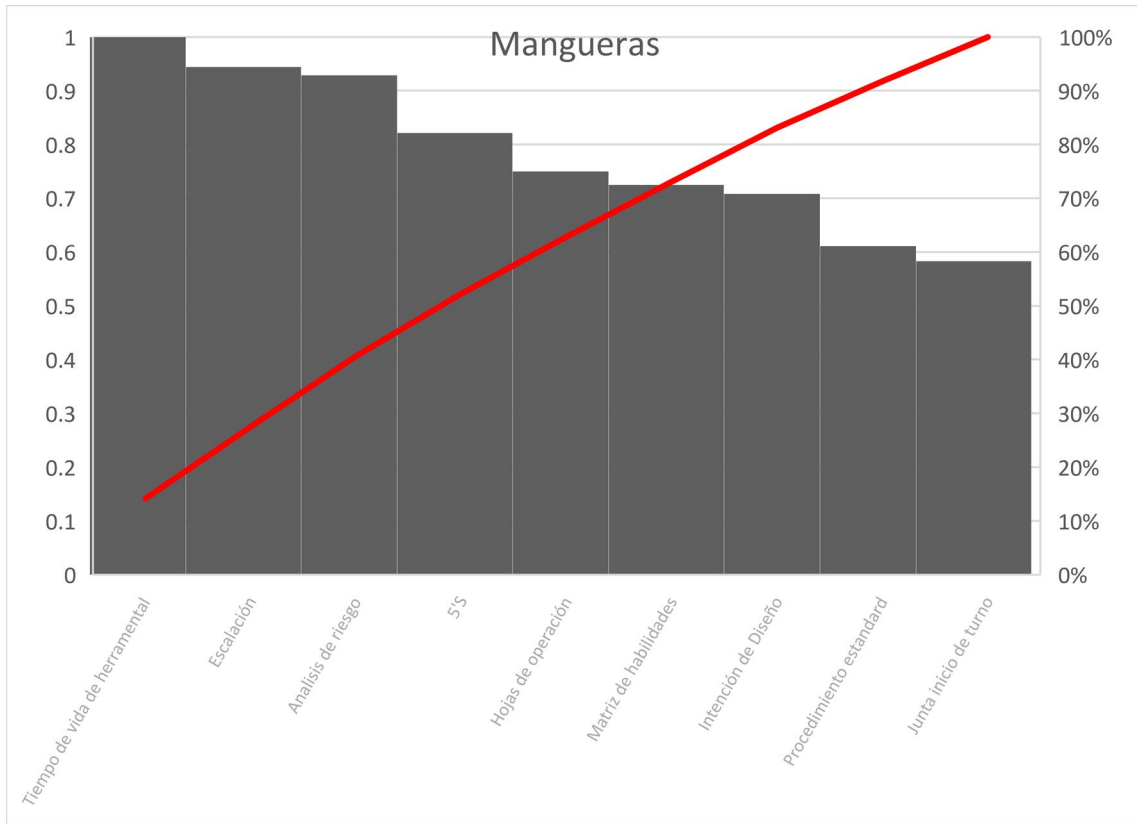


Figura 17. Gráfica de Pareto en la obtención de datos para inyección de mangueras
Elaboración propia

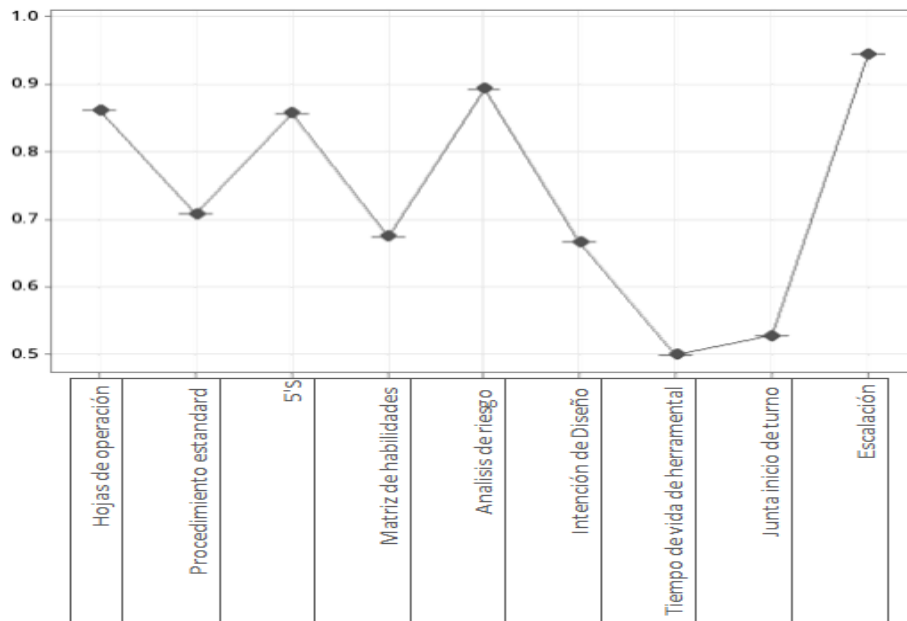


Figura 18. Diagrama de tendencia en inyección de manijas
Elaboración propia

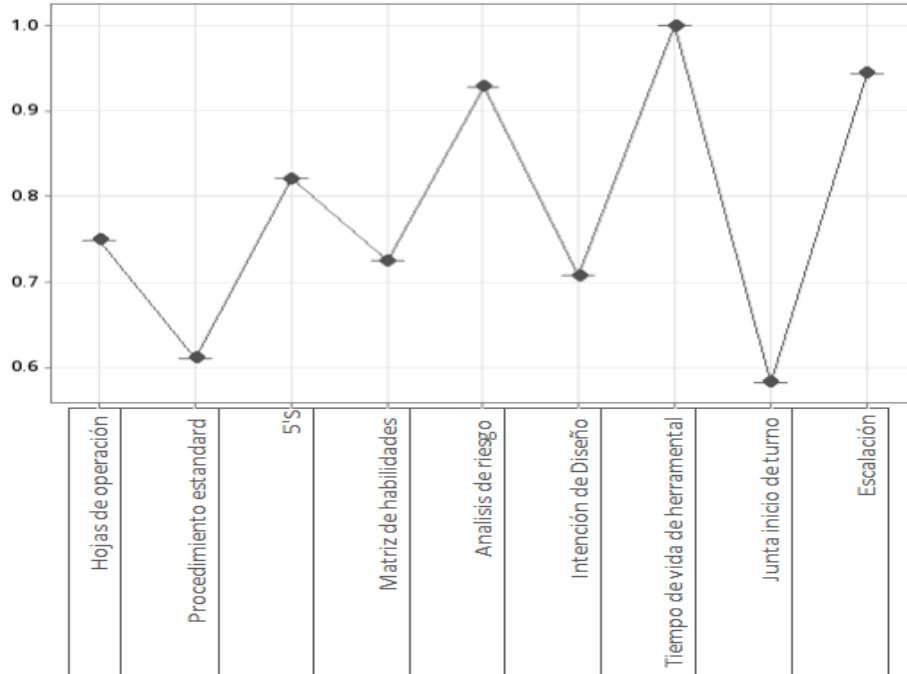


Figura 19. Diagrama de tendencia en inyección de mangueras
Elaboración propia

4.3.4 Búsqueda de variable, condición ideal vs la condición actual

Con el estudio realizado hasta este punto se ha determinado que ambos procesos tienen oportunidad de mejora, a través del análisis de Pareto y de las mediciones de desviación estándar podemos determinar que el mayor contribuidor para el proceso de inyección de manijas se aloja en el control del tiempo de vida del herramental y para el proceso de inyección de mangueras el mayor contribuidor está en las juntas de inicio de turno, sin embargo, la metodología Shainin va más allá de saber en dónde está el mayor contribuidor, implica un intercambio de componentes para confirmar cual característica o factor contribuye más a convertir una pieza “No conforme” en “Conforme” y viceversa, o bien, que al intercambiar esos componentes la pieza “C” se convierta en “B” y la pieza “B” en “C”, para este ejercicio como se mencionó en la sección 3.6 no es posible el intercambio de componentes, por lo que el intercambio se realiza entre los valores obtenidos con menor puntaje para el proceso actual contra los valores del proceso ideal.

En la Tabla 24 se encuentran las preguntas en las que el valor de la condición ideal se intercambi6 por el valor actual y en la Figura 20 y Figura 21 se encuentra el comportamiento lineal de los factores al momento de hacer el intercambio.

Tabla 24. Intercambio de valores B vs C.

	Hojas de operaci6n	Procedimient o est6ndar	5S	Matriz de habilidades	An6lisis de riesgo	Intenci6n de Dise6o	Tiempo de vida de herramental	Junta inicio de turno	Escalaci6n
Manijas	6, 8	22, 23	33	38	53	49	77, 78	73,74	60
Mangueras	6,8	22, 23	33	38	53	49	77, 78	73	60

Elaboraci6n propia

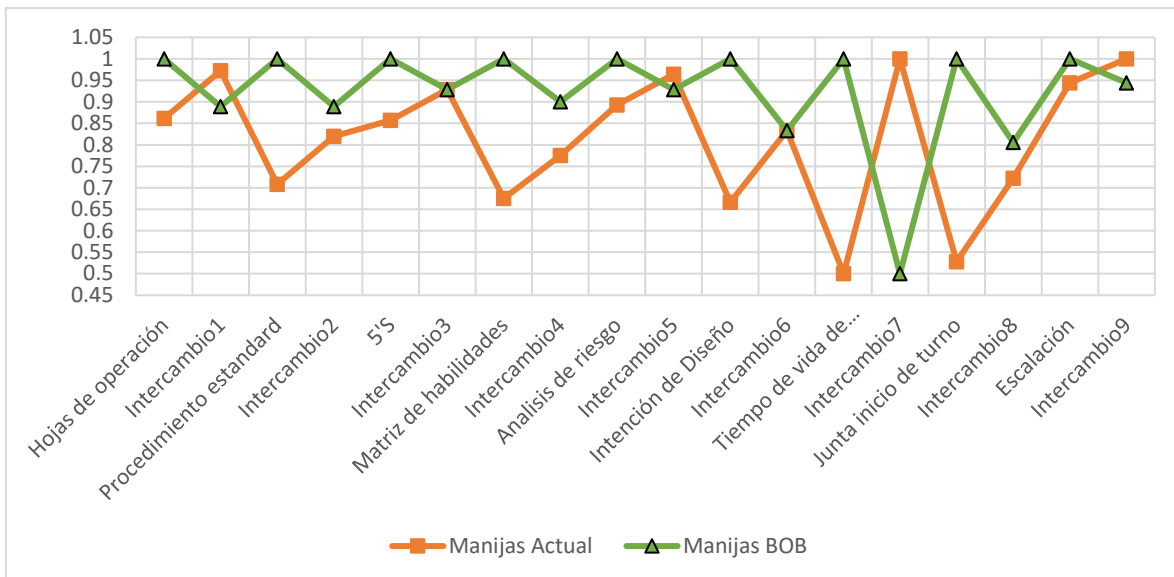


Figura 20. Gr6fica representativa B vs C de control de cambios en la producci6n de manijas

Elaboraci6n propia

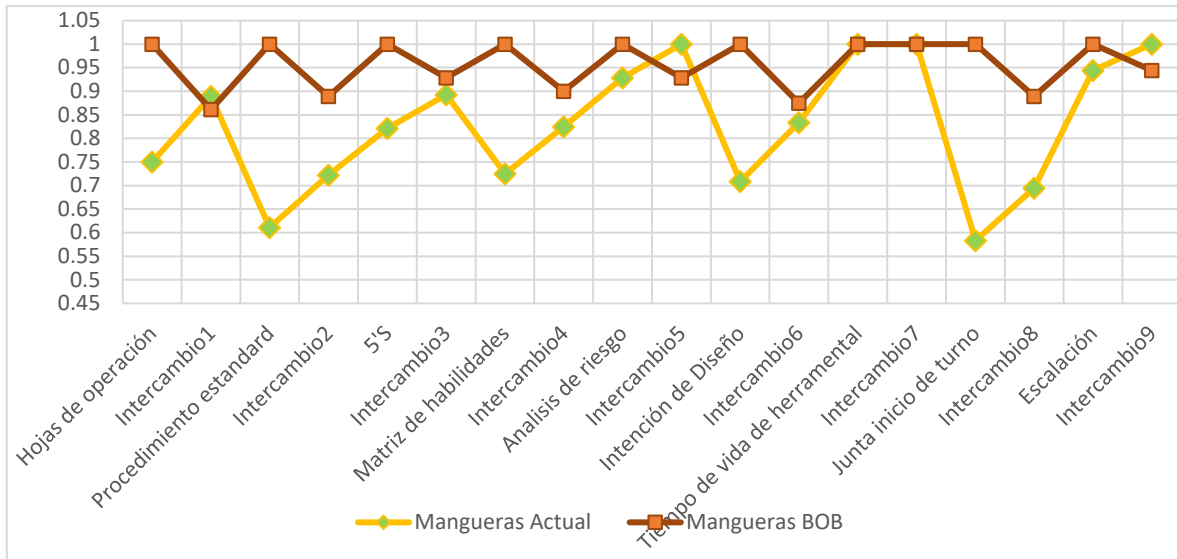


Figura 21. Gráfica representativa B vs C de control de cambios en la producción de mangueras
Elaboración propia

4.4. ÁRBOL DE SOLUCIONES

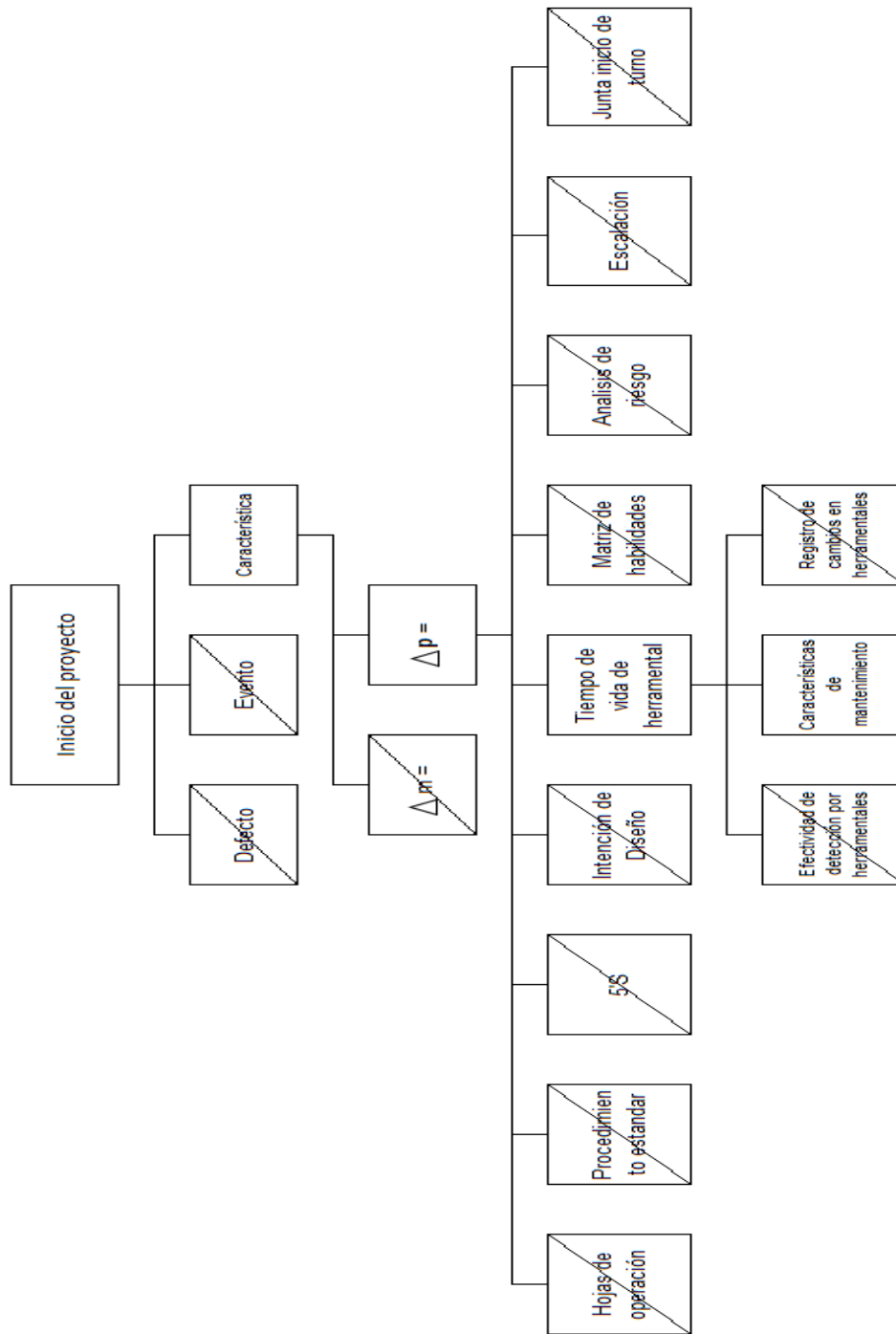


Figura 22. Árbol de soluciones para estudio de 4M en inyección de manijas
Elaboración propia

mantenimiento de los moldes y herramientas no contemplaba la reducción de periodo de vida por el desgaste, en lugar de eso se tenía un mantenimiento programado por cada “N” inyecciones de material, el segundo contribuidor es en las juntas de inicio de turno en donde la metodología de estas reuniones no incluía la verificación visual de la condición de los trabajadores así como no se tiene un estándar en qué momento y como comunicar un cambio durante el turno, y el tercer mayor contribuidor es durante el entrenamiento a los trabajadores, este no incluye ejemplos claros de lo que es un cambio planeado y no planeado, y el trabajador difícilmente identifica la diferencia entre un cambio planeado y uno que no lo está.

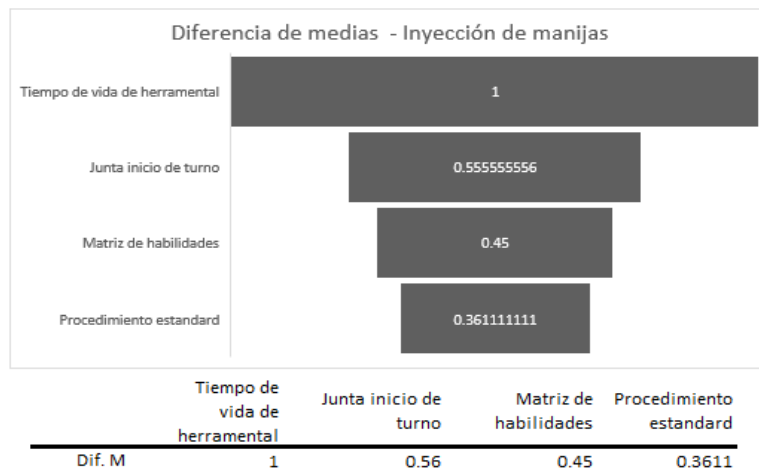


Figura 24. Mayores contribuidores al control de cambios en el proceso de inyección de manijas
Elaboración propia

Para la producción de mangueras, el mayor contribuidor es en las juntas de inicio de turno (Figura 25), donde no hay un control ni dirección sobre llevarlas a cabo cada inicio de turno para comunicar los cambios o sucesos del turno anterior, las reuniones las llevan a cabo meramente líderes y/o supervisores y cuando se considera pertinente se comparte la información con los trabajadores en línea, aquí se deriva al segundo mayor contribuidor que es el procedimiento estándar, en donde, el entrenamiento a los trabajadores no incluye una referencia sobre lo que es un cambio planeado y un cambio no planeado, los documentos referenciados para el rastreo de cambios de 4M no incluye fechas de inicio o término del cambio,

únicamente incluye la fecha en la que se documentó así como no hay un responsable asignado en el seguimiento del procedimiento; el tercer mayor contribuidor está en la matriz de habilidades, el proceso de elaboración de mangueras, de este estudio, es muy artesanal y las actividades son muy humano dependientes por lo que el entrenamiento a los trabajadores tiene que ser riguroso y medido periódicamente sin embargo el estándar de control de habilidades no indicaba un procedimiento para conservar y mejorar las habilidades de los trabajadores.

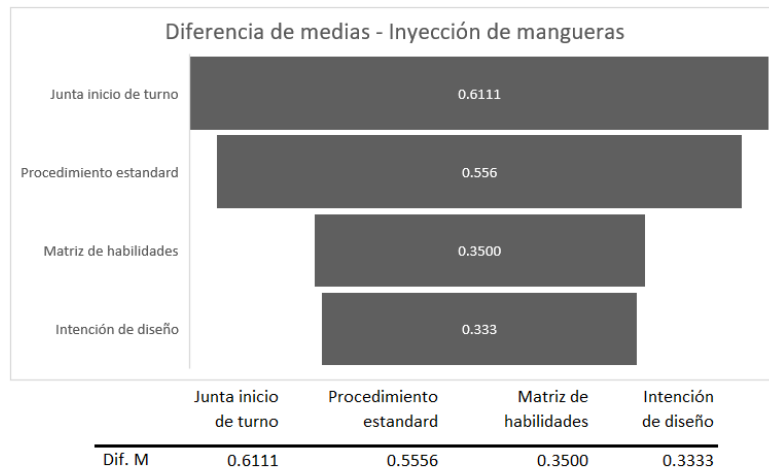


Figura 25. Mayores contribuidores al control de cambios en el proceso de inyección de manijas
Elaboración propia

CONCLUSIONES

La metodología Shainin generalmente se usa para la resolución de problemas complicados donde intervienen diferentes factores y es necesario identificar que factor o suma de factores que contribuye más al problema para determinar las acciones con la finalidad de mitigar y controlar el problema, sin embargo, el usarlo para encontrar un área de oportunidad en un procedimiento, como lo es la gestión de cambios de 4M, representó un reto ya que en una aplicación normal de esta metodología los síntomas del problema son perceptibles y a través de diferentes técnicas y ejercicios se obtienen valores, como el reemplazar componentes, y al medirlos estadísticamente se puede encontrar el factor predominante, en esta ocasión, al buscar un área de oportunidad en un procedimiento no hay síntomas perceptibles por lo que cada paso del flujo de trabajo para esta metodología fue imprescindible realizarlo con cautela y sin pasar por alto alguna situación que pueda ser benéfica para la generación de escenarios e incógnitas a resolver y ponderar. Con esta aplicación se pudo confirmar la hipótesis demostrando ser una herramienta funcional para identificar variables con mayor flaqueza y aportación al control de cambios de 4M, planteando escenarios y el control por cada factor.

La aplicación de la metodología para encontrar los factores con mayor contribución en el control de cambios de 4M de los proveedores se encontraron áreas de oportunidad que al fortalecerlas y controlarlas representan un cambio benéfico, al llevar la situación actual de control a una ideal que se manejó como "BOB". El control de cambios se relaciona intrínsecamente con la calidad del producto, un mejor control lleva a una mejor calidad en el producto.

Mediante la aplicación de esta metodología en el proceso de cambios de 4M de los procesos de inyección se pudieron obtener resultados medibles que dieron el soporte necesario para la interpretación de datos y determinar el factor dominante en ambos procesos de manufactura.

La identificación de factores dominantes para el control de cambios de los procesos en cuestión contribuye a la mejora de calidad estando preparados de forma sistemática y con un plan de acción ante una eventualidad, el

reconocimiento oportuno de un cambio no planeado y el correcto control de cambios planeados evitan a la empresa encargada del proceso gastos innecesarios como reentrenamientos, retrabajos, rotación de personal compra y reemplazo de componentes y partes, reduciendo los impactos de calidad al cliente final.

Las incógnitas generadas en este proyecto pueden ser aplicadas a cualquier proceso de producción y servir como guía al momento de evaluar el nivel de control para cambios de 4M en situación planeadas o sin planear.

A través del desarrollo de esta investigación se aprecia que siendo ambos un proceso a base de inyección de material, inyección de resina e inyección de goma, se tuvieron resultados diferentes, debido a que la naturaleza de la parte juega un rol importante ya que el proceso de elaboración es diferente uno del otro así como la condición final del producto, las mangueras de drenado tienen una condición final flexible mientras que las manijas son rígidas y esto lleva a un control o controles en diferentes criterios para cada uno para mantener esa propiedad, esa diferencia de controles hacen el experimento más elaborado.

El diseño de la parte es un factor importante, porque un diseño complejo como lo es el ensamble final de una manija de puerta conlleva instrucciones más detalladas, diferentes estaciones de trabajo, plantillas de trabajadores con un nivel de habilidad más estricto, mayores estándares de calidad al ser una parte visible, en contraste con un diseño menos complejo como la manguera donde no es perceptible a simple vista para el cliente final y donde la misma flexibilidad del material da cabida a mayores tolerancias dimensionales y de calidad.

Durante la fase de generación de incógnitas y asignación de factores se pudo confirmar que efectivamente los proveedores en estos procesos de inyección cuentan con los requerimientos que indica la norma IATF16949 para el aseguramiento de calidad por cambios en el proceso y que estos pueden ser más robustos.

La captura y la interpretación de la colección de datos para la generación de escenarios no está estandarizado por alguna norma o algún método, por lo que el

ejercicio podría arrojar diferentes resultados al no plantear los escenarios correctos, lo que quiere decir que depende mucho de la experiencia del aplicador y de la experiencia del personal que coopere durante la colecta de información para que el resultado sea concreto y dirigir los recursos hacia áreas específicas, de otra forma se destinarían para mejorar un control interno de una empresa manufacturera pero que pudiera no agregar valor para la gestión de cambios.

RECOMENDACIONES

- Aplicar este método de medición de 4M en procesos de manufactura diferentes al de inyección, por ejemplo, un proceso de estampado y verificar la confiabilidad del uso de esta herramienta de calidad en distintos procesos.
- Conocer a plenitud el producto que se fabrica en la línea de producción donde se aplica el ejercicio para confirmar que las incógnitas ya formuladas son suficientes para cubrir los escenarios de cambios que surjan de la colecta de información.
- Realizar la colección de información de la forma más transparente posible, cada valor ponderado juega un rol importante en la evaluación final.
- Revisar los escenarios e incógnitas aquí planteadas antes de aplicarlo en otro proceso a manera de confirmación que los factores cubren las posibilidades del proceso de manufactura a trabajar.

APORTACIÓN DE LA TESIS

La adaptación de un método, que comúnmente es usado para encontrar áreas de oportunidad en procesos o problemas y defectos en partes y ensambles, con la intención de detectar áreas de oportunidad en la gestión de cambios dentro de los procesos de manufactura y conocer específicamente cual es el área o el rubro que necesita trabajarse para tener una estabilidad y control en problemas de calidad de un producto final que se relacionen con las "4M" desde el dueño de un proceso. El método manda llamar diferentes técnicas donde se requieren valores cuantitativos por lo que la evaluación de una gestión de control de cambios es más objetiva y confiable. Cabe destacar que los métodos usados durante la investigación y la metodología en sí aplican no solo a la industria automotriz sino también a cualquier industria o negocio que tenga o quiera establecer mejoras, las mejoras abarcan desde la calidad del producto, trazabilidad de partes, áreas de trabajo, ahorro de costos, entre otros, por lo que se dará pie a seguir con investigaciones y evaluaciones futuras para otros diferentes procesos de manufactura de manera que pueda ser considerado como un proceso de medición aplicable a cada industria que cuente con una gestión de control de cambios.

APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS

A través del uso de métodos cuantitativos como lo es el sistema Shainin en conjunto con los aprendizajes y habilidades adquiridas a lo largo del curso de la maestría en manufactura avanzada se podrán evaluar los distintos procesos de manufactura que tienen los proveedores hacia plantas ensambladoras de vehículos, para este ejercicio, específicamente 2 procesos de manufactura a base de inyección de resinas y de inyección de gomas, que permitirá identificar si existe algún área de oportunidad en su proceso que necesite un mejor control de calidad asociado a los cambios internos planeados y no planeados. Cumpliendo con la satisfacción y expectativas que los clientes esperan de una ensambladora de vehículos, estos se sumarán cada vez más lo que generará un incremento en la producción de vehículos y que a su vez se verá reflejado en el crecimiento de la empresa trayendo con esto la generación de nuevos empleos sin dejar de lado que la producción y venta de los vehículos impulsará la economía, además del crecimiento que tendrán las plantas de los proveedores en otras ciudades y la mano de obra que generaran.

REFERENCIAS

- Al-Ali, A. A., Singh, S. K., Al-Nahyan, M., & Sohal, A. S. (2017). Change management through leadership: The mediating role of organizational culture. *International Journal of Organizational Analysis*, 25, (4). <https://doi.org/10.1108/ijoa-01-2017-1117>
- Antonucci, I. (2020, 23 de octubre). *Capacidad de procesos: Métricas de calidad y estrategia seis sigma*. Atlas Consultora. Consultado 12 de marzo del 2023. <https://www.atlasconsultora.com/capacidad-de-procesos/>
- Aznarte, E., Qureshi, A. J., & Ayranci, C. (2018). A study on material-process interaction and optimization for VAT-photopolymerization processes. *Rapid Prototyping Journal*, 24(9). <https://doi.org/10.1108/rpj-10-2017-0195>
- Bacciaglia, A., Ceruti, A., & Liverani, A. (2021). A design of experiment approach to 3D-printed mouthpieces sound analysis. *Progress in Additive Manufacturing*, 6(3). <https://doi.org/10.1007/s40964-021-00183-5>
- Bordonaro, G. G., Leardi, R., Diviani, L., & Berto, F. (2018). Design of experiment as a powerful tool when applying finite element method: A case study on prediction of hot rolling process parameters. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 12(44). <https://doi.org/10.3221/igf-esis.44.01>
- Budhiraja, S. (2020). Change-efficacy: The glue that connects organizational change with employees' actions. *Development and Learning in Organizations*, 35, (2). <https://doi.org/10.1108/dlo-02-2020-0033>
- Burgasí, D., Cobo, D., Pérez, K., Pilacuan, R., & Rocha, M. (2021). El diagrama de Ishikawa como herramienta de calidad en la educación: Una revisión de los últimos 7 años. *Tambara*, 14(84), 1212–1230.
- Cao, G., Clarke, S., & Lehaney, B. (2004). The need for a systemic approach to change management—a case study. *Systemic Practice and Action Research*, 17(2). <https://doi.org/10.1023/b:spaa.0000018906.16607.cc>
- Choromides, C. (2018). Leadership and change management: A cross-cultural perspective. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 24(2). <https://doi.org/10.1108/ijebr-03-2018-428>
- Costa, T., Silva, F. J. G., & Pinto Ferreira, L. (2017). Improve the extrusion process in tire production using six sigma methodology. *Procedia Manufacturing*, 13, 1104–1111. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.171>
- Cuamea, G., Rodríguez, M., Poblano, E., García, R., & Sandoval, D. (2022). Construcción de índices de capacidad para el análisis y evaluación de procesos con múltiples respuestas. *RIDE Revista Iberoamericana para la*

Investigación y el Desarrollo Educativo, 13(25). <https://doi.org/10.23913/ride.v13i25.1322>

Cubides, C. A. (2020) *Proceso de escalamiento de quejas en una compañía multinacional del sector farmacéutico y de dispositivos médicos*. UMNG. Consultado 08 de febrero del 2023. <http://hdl.handle.net/10654/37271>

Das, S., Mudgal, A., Dutta, A., & Geedipally, S. R. (2018). Vehicle consumer complaint reports involving severe incidents: Mining large contingency tables. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(32). <https://doi.org/10.1177/0361198118788464>

Eriksson, Y., Fundin, A. (2017) Visual management for a dynamic strategic change. *Journal of organizational change management*. 31, (3) <https://doi.org/10.1108/JOCM-05-2016-0103>

Escalante Vázquez, E. J. (2014). *Diseño y análisis de experimentos*. LIMUSA.

Favi, C., Germani, M., & Marconi, M. (2017). A 4M approach for a comprehensive analysis and improvement of manual assembly lines. *Procedia Manufacturing*, 11, 1510–1518. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.283>

Freeman, G., & Radziwill, N. (2018). Voice of the customer (voc): A review of techniques to reveal and prioritize requirements for quality. *Journal of Quality Management Systems, Applied Engineering, and Technology Management*, 2018(3), 1–29.

Gao, C., Jia, J. (2017). Factor analysis of key parameters on cutting force in micromachining of graphene-reinforced magnesium matrix nanocomposites based on FE simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(9-12). <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0389-8>

Gupta, R., Verma, P. L., Manoria, A., Bajpai, D. L. (2016). Simplifying six sigma methodology using Shainin D.O.E. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*. 3.(303) 363-368. <https://doi.org/10.21090/ijaerd.030361>

Hiatt, J. (2012). *Change management: The people side of change*. Prosci Learning Center Publications.

International Automotive Task Force (2016). *Norma del sistema de gestión de la calidad automotriz (IATF 16949)*. <https://www.iafglobaloversight.org/iaf-169492016/about/>

Kadam, S. S., Virupakshappa, N. M., Achutha K. (2018) Root cause analysis of rough conical seat grinding problem in fuel pump cylinder head by Shainin methodology. *MATEC Web of conferences*, 144 (05009). <https://doi.org/10.1051/matecconf/201814405009>

- Karimidorabati, S., Haas, C. T., & Gray, J. (2016). Evaluation of automation levels for construction change management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 23(5). <https://doi.org/10.1108/ecam-01-2015-0013>
- Khavekar, R., Vasudevan, H., Ranka, D. (2020). Investigating red X parameter for short shot-type defect in plastic injection moulds using Shainin's design of experiments. *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4485-9_55
- Khavekar, R., Vasudevan, H., & Deshpande, G. (2018). Application of Shainin methodology to reduce rejections in spur gear manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 12003–12008. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.174>
- Khavekar, R., Vasudevan, H., & Modi, B. (2017). A comparative analysis of taguchi methodology and shainin system doe in the optimization of injection molding process parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 225, 012183. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/225/1/012183>
- Kilkelly, E. (2014). Creating leaders for successful change management. *Strategic HR Review*, 13(3). <https://doi.org/10.1108/shr-01-2014-0004>
- Kosina, J. (2015). Shainin methodology: An alternative or an effective complement to six sigma? *Quality Innovation Prosperity*, 19(2), 18. <https://doi.org/10.12776/qip.v19i2.580>
- Kumar, A., Mohan, H. (2021). Quality improvement in shaft manufacturing industry using seven quality tools. *International journal of science, engineering and technology*, 9, (5): <https://www.ijset.in/volume-9-issue-5/#more-6593>
- Lam, C. (2014) Visualizing categorical data: An introduction to correspondence analysis for technical communication researches. *2014 IEEE International Professional Communication Conference*. <https://doi.org/10.1109/IPCC.2014.7020345>
- Lozano, T. (2020, 16 de enero) *Análisis comparativo de herramientas utilizadas en la resolución de problemas en procesos de manufactura para la reducción de variabilidad*. Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México (RI - TecNM). Consultado el 3 de Marzo del 2023. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/508>
- Marín, A. V., Valenzuela, M., Cuamea, G., Brau, A. (2023). Aplicación de la metodología lean six sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 24(1), 1–12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.1.007>

- Martelo, R. J., Moncaris, L., & Vélez, L. (2016). Integración del ábaco de régnier, encuestas y lluvia de ideas en la definición de variables claves en estudios prospectivos. *Información tecnológica*, 27(5), 243–250. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642016000500025>
- Meselidis, C., & Karagrigoriou, A. (2022). Contingency table analysis and inference via double index measures. *Entropy*, 24(4), 477. <https://doi.org/10.3390/e24040477>
- Mittal, K., Tewari, P. C., & Khanduja, D. (2017). Productivity improvement under manufacturing environment using Shainin system and fuzzy analytical hierarchy process: A case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1-4), 407–421. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0123-6>
- Morales, A. R., & Garambullo, A. I. (2017). Aplicación de metodología lean seis sigma para la reducción de defectos en la producción de lentes dentro de la empresa formula plastics de México S. A de C. V. en Tecate B. C. *Revista Electrónica del Desarrollo Humano para la Innovación Social*, 4(8).
- Naik, N., Kowshik, C. S. S., Bhat, R., & Bawa, M. (2019). Failure analysis of governor in diesel engine using Shainin system™. *Engineering Failure Analysis*, 101, 456–463. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.04.002>
- Navarro, C., Gutiérrez, A., Sarmiento, E., & Troncoso, A. (2020). Capacidad de Proceso: Una herramienta de decisión empresarial en el armado de vallas metálicas. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 2(1), 49–54. <https://doi.org/10.17981/bilo.2.1.2020.9>
- Neves, P., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, T., Gouveia, A., & Pimentel, C. (2018). Implementing lean tools in the manufacturing process of trimmings products. *Procedia Manufacturing*, 17, 696–704. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.119>
- Novillo, E. F., González, E. X., Quinche, D., & Salcedo, V. E. (2017). Herramientas de calidad: estudio de caso universidad técnica de Machala. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. 4(3).
- Novillo, E. F., & Feijoo J. E. (2019). Herramienta de calidad diagrama causa y efecto aplicado al departamento de archivo general: Caso universidad técnica de machala. *Repositorio Digital de la UTMACH*, 1(1), 1–12. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14924>
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos* (ISO 9001:2015). <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- Phelps, J. (2020, 23 de septiembre). *The war on error - vol. VII: The Shainin system*. Jaywink Solutions, LLC. Consultado el 3 de Marzo del 2023.

<https://jaywinksolutions.com/thethirddegree/the-war-on-error-vol-vii-the-shainin-system>

- Selvamuthu, D., & Das, D. (2018). *Introduction to statistical methods, design of experiments and statistical quality control*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1736-1>
- Sherugar, S., & Jaychandran, K. (2018). Root cause detection for excess control rod vibration in fuel injection pump using Shainin methodology. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.6), 364. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.6.15134>
- Smętkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using six sigma DMAIC to improve the quality of the production process: A case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 238, 590–596. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>
- Solana, J. (2016). Herramienta de ingeniería para facilitar el razonamiento inductivo en la toma de decisiones. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, XLIX, 449–458.
- Steinfelder, C., Acksteiner, J., Guilleaume, C., & Brosius, A. (2022). Analysis of the interactions between joint and component properties during clinching. *Production Engineering*, 16(2-3). <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01102-x>
- Teoi, A. Y., Anholon, R., da Silva, D., & Quelhas, O. L. G. (2016). Critical factors for the dimensional management system (DMS) implementation in manufacturing industries. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(1-4), 1053–1063. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8824-9>
- Thakur, K., Kumar, A., Jashwara, S., Singh, K., Singh, K. (2021). Root cause analysis by Shainin approach in automotive manufacturing sector: A Case Study. *Advances in Mechanical Engineering*. https://doi.org/ciateq.remotexs.co/10.1007/978-981-16-0942-8_23
- Yoo, J. H., Lee, H. S., & Ko, J. W. (2011). Risk assessment and drawing information system based change management. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 28(2). <https://doi.org/10.1007/s11814-010-0389-y>
- Zhang, D., Zhang, Z., Cheng, T., Zhao, X. (2019) Multi-factorial analysis on vault stability of an unsymmetrically loaded tunnel using response surface method. *International Journal of Engineering*, 32, (11) <https://doi.org/10.5829/ije.2019.32.11b.08>