



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



TESIS

**Aplicación de la minería de datos en el proceso de manufactura de un sensor
de desgaste de balatas en una empresa automotriz**

Que para obtener el grado de:

Maestro en Planeación Estratégica e Innovación

Presenta:

María Guadalupe Sánchez Ramírez

Asesor:

Dra. Dora Erika Espericueta González

Co asesor:

Mtra. Saraí Betzabe Díaz Rocha

San Luis Potosí, S. L. P.

Marzo de 2022

19 de agosto de 2021

**ING. MARÍA GUADALUPE SÁNCHEZ RAMÍREZ
P R E S E N T E.**

En atención a su solicitud de Temario, presentada por la **Dra. Dora Erika Espericueta González y la Mtra. Sarafí Betzabe Díaz Rocha**, Asesora y Coasesora de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestra en Planeación Estratégica e Innovación**, me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 19 de agosto del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"Aplicación de la minería de datos en el proceso de manufactura de un sensor de desgaste de balatas en una empresa automotriz"

Introducción.

1. Antecedentes y problemática en el proceso de manufactura de sensores de desgaste de balatas
2. La minería de datos como herramienta para encontrar tendencias y patrones para la mejora de los procesos.
3. Metodología propuesta de la minería de datos y sus herramientas aplicada a un proceso de manufactura de un sensor de desgaste de balatas.
4. Implementación de un sistema de minería de datos para la mejora del proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas.
5. Validación de los resultados obtenidos en la aplicación de la minería de datos en el proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas.

Conclusiones.

Referencias.

ANEXOS.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

A T E N T A M E N T E



DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVÁN
DIRECTOR

www.uaslp.mx

Av. Manuel Navarro
Zona Universitaria • CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2310 al 33
fax (444) 826 2336

Copia. Archivo
*etn.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA VIRTUAL
Zona Universitaria s/n C.P. 78290 Tel. 834 25 42 Fax 828-23-06
San Luis Potosí, S.L.P. México



La que suscribe María Guadalupe Sánchez Ramírez, con domicilio en Ignacio Altamirano 246, Barrio de Tlaxcala, C. P. 78038. Tel 4442-39-04-68 en la ciudad de San Luis Potosí y en mi carácter de autor y titular de la tesis que lleva como nombre:

“Aplicación de la minería de datos en el proceso de manufactura de un sensor de desgaste de balatas en una empresa automotriz”

En lo sucesivo “LA OBRA” y por ende, cedo y autorizo a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, para que lleve a cabo la divulgación, publicación, reproducción, así como la digitalización de la obra, en formato electrónico y sin fines de lucro.

La Universidad Autónoma de San Luis Potosí, se compromete a respetar en todo momento mi autoría y a otorgarme el crédito correspondiente.

San Luis Potosí, S.L.P. a 29 de marzo del 2022.

Atentamente



María Guadalupe Sánchez Ramírez

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área de Investigación y Estudios de Posgrado

Aclaración

El presente trabajo que lleva por título:

“Aplicación de la minería de datos en el proceso de manufactura de un sensor de desgaste de balatas en una empresa automotriz”, se realizó en el periodo de febrero de 2020 a junio de 2021 bajo la dirección del Dra. Dora Erika Espericueta González y la M.D.G.P.I. Sarai Betzabe Díaz Rocha.

Originalidad

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

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

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

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

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

Nombre y Firma del autor



María Guadalupe Sánchez Ramírez

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres, quienes con su amor, esfuerzo, principios y valores me inculcaron el hábito de superación, invirtiendo siempre en mi educación y formación personal. A ellos les agradezco el ejemplo que me han transmitido a lo largo de estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, ha sido un orgullo y privilegio ser su hija, son los mejores padres.

A Diego por estar siempre presente y que me ha alentado a concluir este proyecto. Por su comprensión y cariño constante durante el desarrollo de éste. Gracias por motivarme a ser mejor persona día con día.

A mis compañeros de maestría; Angélica, Keila, Miguel Navarro, Leonardo, Miguel Fajardo, Alejandro, Gerardo y Alfredo que me han compartido de sus experiencias y consejos personales y profesionales durante este recorrido, les agradezco su amistad y los buenos momentos que hemos pasado dentro y fuera del aula de estudio. Es un placer poder conocerlos.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi persona ya que tuvo el sueño de seguir preparándose académicamente y que a pesar de las dificultades y obstáculos que se presentaron durante todo el trayecto lo hizo posible. A ella le agradezco su empeño y vigor.

Agradecimientos

Le agradezco de manera muy especial a mi asesora, la Dra. Dora Erika que me proporcionó de su tiempo, paciencia, entusiasmo y dedicación para guiarme durante este proceso, por motivarme y confiar en mí.

A mi co-asesora, la M.D.G.P.I. Saraí Díaz que me orientó a través de sus conocimientos teóricos y prácticos, por su experiencia compartida y herramientas otorgadas, por su apoyo incondicional y por el tiempo brindado.

A mis estimados sinodales, el Dr. Orlando Guarneros y al Dr. Adolfo Medellín que a través de su retroalimentación, recomendaciones y correcciones favorecieron a la mejora de mi trabajo para que pudiera ser concluido de manera exitosa el día de hoy.

Al M. C. Vicente que me guió a través del proceso de titulación, al resolver todas las dudas y preguntas. Le agradezco su ayuda y su amable disponibilidad.

A mis profesores de la maestría, por haberme compartido sus enseñanzas y experiencias en el ámbito académico y laboral, por la dedicación y el compromiso dentro del salón de clase. Son los grandes maestros como ellos, los que motivan e inspiran a seguir aprendiendo.

RESUMEN

Esta investigación es planteada desde el punto de vista del departamento de calidad para una línea de producción de un sensor de desgaste de balatas, donde día a día se genera un gran número de datos que no son analizados, debido a que no encuentran organizados ni estructurados de manera que pudiesen aportar conocimiento relacionado al proceso de manufactura para determinar su comportamiento y con ello definir líneas de acción con el fin de mejorar los indicadores claves de proceso del área.

La metodología propuesta para el desarrollo del trabajo se basa en el método de Descubrimiento de Conocimiento en Base de Datos, donde se realizan algunas adecuaciones para su implementación práctica en la línea de producción, de forma que se siguen 4 etapas consecutivas. La etapa 1 refiere a la gestión de los recursos necesarios para el proyecto, después se continua con la etapa 2 de selección de los datos relevantes del proceso de manufactura, posteriormente en la etapa 3 se realiza el procesamiento y visualización de esta información de manera gráfica y estructurada para concluir con la etapa 4, la cual compete a la valorización y extracción del conocimiento como apoyo para la toma de decisiones por parte de la gerencia de la organización.

Dentro de los resultados más importantes de este trabajo, se encuentra la selección de 18 variables cuantitativas analizadas con el uso de un programa estadístico definido por las necesidades del área. A su vez, se determinaron 4 herramientas gráficas como soporte para el ordenamiento de la información que cumplieron con las expectativas del equipo de trabajo involucrado. Los puntos anteriores derivan en un plan estratégico para la mejora del área fundamentado en un diagnóstico basado en datos reales e históricos.

Al término de este trabajo, se determina que los objetivos específicos que fueron expuestos al principio de la investigación se cumplen de manera satisfactoria

Palabras clave: análisis de datos, visualización de datos, minería de datos, estadística

ABSTRACT

This research is approached from the point of view of the quality department for a production line of a brake pad wear sensor where a large amount of data is generated daily but is not analyzed because it is not organized or structured in a way that could provide knowledge related to the manufacturing process to determine its behavior and thus define lines of action to improve the key process indicators of the area.

The methodology proposed for the development of the work is based on the method of Knowledge Discovery in Database, where some adjustments are made for its practical implementation in the production line, so that 4 consecutive stages are followed, where stage 1 refers to the management of the necessary resources, then continue with stage 2 of selection of the relevant data of the manufacturing process, then in stage 3 the processing and visualization of this information is performed in a graphical and structured way to conclude with stage 4, which concerns the valorization and extraction of knowledge as a support for decision making by the management of the organization.

Among the most important results of this work is the selection of 18 quantitative variables analyzed with the use of a statistical program defined by the needs of the area. At the same time, 4 graphic tools were determined as support for the ordering of the information that met the expectations of the work team involved. The above points lead to a strategic plan for the improvement of the area based on a diagnosis based on real and historical data.

At the end of this work, it is determined that the specific objectives that were stated at the beginning of the research are satisfactorily fulfilled.

Keywords: data analysis, data visualization, data mining, statistics

Contenido

Introducción	14
Capítulo 1. Antecedentes y problemática en el proceso de manufactura de sensores de desgaste de balatas.....	15
1.1. Antecedentes.....	15
1.2. Problemática	21
1.2.1. Preguntas de investigación.....	22
1.3. Justificación	23
1.4. Objetivos.....	25
1.4.1. Objetivo General	25
1.4.2. Objetivos específicos	25
1.5. Alcance	26
1.6. Limitaciones	26
Capítulo 2. La minería de datos como herramienta para encontrar tendencias y patrones para la mejora de los procesos	28
2.1. Marco Normativo	28
2.2. Marco Conceptual.....	29
2.3. Marco Tecnológico	32
2.4. Marco Metodológico	34
2.4.1 Científico de datos	34
2.4.2. Grandes volúmenes de datos.....	35
2.4.3. Minería de datos.....	36
2.4.4. Modelo CRISP-DM para minería de datos	38
2.4.5. Modelo SEMMA para minería de datos	40
2.4.6. Modelo KKD de minería de datos	42
2.4.7. Minería de datos como apoyo a la toma de decisiones.....	44
2.5. Hipótesis	45
Capítulo 3. Metodología propuesta de la minería de datos y sus herramientas aplicadas a un proceso de manufactura de un sensor de desgaste de balatas.	46
3.1 Introducción al capítulo	46
3.2 Metodología propuesta	47
3.2.1 Etapa 1.- Gestión de los recursos	47
3.2.2 Etapa 2.- Selección de datos	52
3.2.3 Etapa 3.- Procesamiento y visualización de los datos.....	54
3.2.4 Etapa 4.- Valorización y extracción del conocimiento	56

3.3. Selección de herramientas utilizadas y su justificación.....	57
3.4. Indicadores para evaluar la metodología propuesta	62
Capítulo 4. Implementación de un sistema de minería de datos para la mejora del proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas.....	64
4.1 Etapa 1 Gestión de los recursos	64
4.1.1 Desarrollo.....	64
4.1.2. Análisis de resultados	79
4.2 Etapa 2 Selección de datos	79
4.2.1 Desarrollo.....	79
4.2.2. Análisis de resultados	95
4.3 Etapa 3. Procesamiento y visualización estadístico.....	96
4.3.1 Desarrollo.....	96
4.3.2. Análisis de resultados	109
4.4 Etapa 4. Valorización y extracción del conocimiento	109
4.4.1 Desarrollo.....	109
4.1.2. Análisis de resultados	117
Capítulo 5. Validación de los resultados obtenidos en la aplicación de la minería de datos en el proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas	118
5.1 Validación de resultados.....	118
Conclusiones	119
Referencias	122
ANEXOS.....	123
Anexo 1. Instrucción de operación para la creación de las máscaras de datos.....	124
Anexo 2. Instructivo de operación para el llenado de la información en las máscaras de datos	131
Anexo 3. Códigos para el tamaño de muestra	136
Anexo 4. Tabla de inspección normal y severa	137
Anexo 5. Ciclo PDCA para el indicador del CDI del área	138

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de proceso de la unidad de manufactura 2 de la Empresa Automotriz.....	16
Figura 2. Mapeo de proceso del área de manufactura de sensor de desgaste de balatas.....	16
Figura 3. Relación de los departamentos en la organización.	17
Figura 4. Sensor de desgaste de balata	18
Figura 5. Configuración de línea de ensamble del sensor de desgaste de balata.	18
Figura 6. Diagrama de entradas y salidas del proceso de sensor de desgaste de balata.....	20
Figura 7. Modelo CRISP-DM para minería de datos.....	38
Figura 8. Modelo SEMMA para minería de datos	40
Figura 9. Modelo Knowledge Discovery in Database	42
Figura 10. Etapas de la metodología propuesta.....	47
Figura 11. Etapa 1 de la metodología propuesta	48
Figura 12. Etapa 2 de la metodología propuesta	52
Figura 13. Etapa 3 de la metodología propuesta	54
Figura 14. Etapa 4 de la metodología propuesta	56
Figura 15. Herramientas en Etapa 1	58
Figura 16. Herramientas en Etapa 2	59
Figura 17. Herramientas en Etapa 3	60
Figura 18. Herramientas en Etapa 4.....	61
Figura 19. Equipo de cómputo con acceso al programa estadístico dentro del área.....	66
Figura 20. Organigrama del departamento de calidad	68
Figura 21. Diagrama de flujo de toma y registro de información	72
Figura 22. Instructivos de operación	73
Figura 23. Extracto de instrucción de operación para la creación de las máscaras de datos donde se registrará la información recolectada	74
Figura 24. Extracto de instrucción de operación para el llenado de la información en las máscaras de datos dentro del programa	75
Figura 25. Ayuda visual	76
Figura 26. Extracto de la plataforma digital Entrénate con la nueva actividad del uso del programa estadístico	77

Figura 27. Extracto de la evaluación para determinar el grado de conocimiento de la nueva operación por parte del inspector de calidad.	78
Figura 28. Diagrama de operaciones.	80
Figura 29. Pareto acumulado de CDI de línea de producción.....	82
Figura 30. Extracto matriz de aseguramiento de la calidad	83
Figura 31. Diagrama de categorías de las variables relevantes	86
Figura 32. Características de proceso y producto definidas para el análisis	87
Figura 33. Extracto de dibujo de ingeniería del producto	88
Figura 34. Extracto de la máscara de datos dentro del programa estadístico.....	89
Figura 35. Extracto del registro de liberación de primera pieza de la línea de producción	90
Figura 36. Herramienta usada para tener retroalimentación del usuario que interactúa con el programa estadístico.....	98
Figura 37. Registro de información dentro del programa estadístico	98
Figura 38. Extracto del reporte de estadísticas de cotas.....	101
Figura 39. Gráfico de valores individuales de la característica de altura de pin 1 de conector ...	103
Figura 40. Histograma de la característica de altura de pin 1 de conector.....	104
Figura 41. Gráfico de control de calidad de la variable de altura de pin 1 de conector	105
Figura 42. Gráfico 2 de control de calidad de la variable de altura de pin 1 de conector	106
Figura 43. Comparación de estadísticas de cotas del conjunto de variables relevantes seleccionadas	107
Figura 44. Comparación de histogramas del conjunto de variables seleccionadas.....	107
Figura 45. Gráfico de control de calidad del conjunto de variables relevantes seleccionadas.....	108
Figura 46. Gráfico de valores individuales del conjunto de variables relevantes seleccionadas .	108

Índice de Tablas

Tabla 1. Matriz de ponderación para la selección del programa.....	65
Tabla 2. Verificación de calibración de los equipos de medición del área	67
Tabla 3. Descripción de rutina de actividades del inspector de calidad.....	68
Tabla 4. Matriz de asignación de responsabilidades	70
Tabla 5. Extracto de la matriz de plan de reacción	71
Tabla 6. Porcentajes de CDI de los primeros 6 meses del año 2020 en Línea de producción	81
Tabla 7. Relación de defectos internos y externos de la línea de producción	84
Tabla 8. Propiedades de las variables relevantes seleccionadas	88
Tabla 9. Definición de tamaño de lote	92
Tabla 10. Letras de códigos para el tamaño de muestra para MIL STD 414 (muestreo por variables)	93
Tabla 11. Tabla inspección normal y severa, método M	94
Tabla 12. Determinación de tamaño de muestra “n” para cada modelo.	95
Tabla 13. Auditoría de confirmación para llenado de la información en la máscara de datos	96
Tabla 14. Matriz de selección para elegir la herramienta de visualización.....	100
Tabla 15. Matriz de evaluación del conjunto de las variables relevantes del proceso de manufactura	110
Tabla 16. Matriz de priorización de las variables relevantes	112
Tabla 17. Lista de prioridad de las variables relevantes en orden descendente	112
Tabla 18. Cuadro de mando integral del área de producción.....	114
Tabla 19. Análisis FODA de los resultados obtenidos.....	115
Tabla 20. Extracto del Ciclo PDCA para el indicador de CDI del área	116

Introducción

El presente trabajo se desarrolla en el sector industrial dentro del ramo automotriz, donde cada día los procesos administrativos y operativos a sistemas semiautomáticos o automáticos con el uso de la tecnología actual se encuentran inmersos en la mejora continua, por medio de plataformas digitales, aplicaciones en teléfonos inteligentes y herramientas de internet en las cosas.

Debido a la creciente disputa en el negocio automotriz, donde continuamente se tiene el riesgo ser reemplazado por los contendientes que ofertan productos y/o servicios similares o iguales a precios más bajos, se tiene la necesidad de asumir retos cada vez más desafiantes con el objetivo de reducir costos de manufactura, gastos operativos y disminuir el uso de recursos para ser una opción competitiva en el mercado.

El vínculo del presente trabajo con la situación antes mencionada se deriva en aportar una herramienta sistemática que ayude a prevenir fallas con anticipación y que de manera consecuente sirva como parteaguas para mejorar el control del proceso y tener buena calidad del producto con el objetivo de reducir y evitar costes por desperdicios. Por lo tanto, la contribución que se espera con esta implementación es tener mayor retribución monetaria al momento de manufacturar el producto con menos despilfarros, y a su vez, hacer conciencia en el personal que labora directamente con el producto, de tal manera que el modelo de prevención sea una motivante constante en sus actividades diarias y que estas mismas generen mayor valor agregado al proceso de manufactura del área.

La estructura de este documento se compone de los antecedentes de la compañía donde se estará realizando este proyecto para después conocer más a detalle la problemática y la justificación de la realización del mismo, enseguida se presenta un objetivo general que conlleva a los objetivos específicos pertinentes de acuerdo a una hipótesis propuesta, prosigue la definición del alcance para el proyecto y después se continua con el Marco Teórico conformado por un Marco Normativo, Marco Conceptual, Marco Tecnológico y Marco Metodológico, Resultados y Conclusiones del proyecto.

Capítulo 1. Antecedentes y problemática en el proceso de manufactura de sensores de desgaste de balatas

1.1. Antecedentes

Este proyecto se desarrollará en una empresa de ramo automotriz que a partir de este momento se denominará “Empresa Automotriz”. La compañía fue fundada en 1886 en la ciudad de Stuttgart, Alemania, donde en sus inicios era un taller de mecánica de precisión e ingeniería eléctrica. Fue en 1897 donde la empresa comenzó con la intervención de automóviles para el encendido de un motor estacionario con un diseño propio y que encaminó a convertirse en un proveedor líder en el mundo. (2020)

En México, la organización fundó la primera nave industrial de producción en 1955 hasta completar hoy en día 14 localidades. Actualmente la Empresa Automotriz tiene alrededor de 16,000 asociados en el país. En San Luis Potosí, la empresa inició formalmente en el año 2009 y hoy en día se destaca por especializarse en el desarrollo y fabricación de productos de gasolina para motor automotriz y control de chasis del vehículo, la empresa cuenta con 3,372 personas y es la tercera más grande del país.

La Empresa Automotriz está conformada por 6 unidades de manufactura y operaciones, este trabajo se realizará en la Unidad de Manufactura número 2, donde se fabrican diferentes tipos de arneses y dos tipos de sensores; el sensor de velocidad y el sensor de desgaste de balatas siendo este último donde se enfocará el trabajo. El área de fabricación del sensor de desgaste de balatas se señala en el mapa de proceso de esta unidad de manufactura en la *Figura 1* en recuadro color azul.

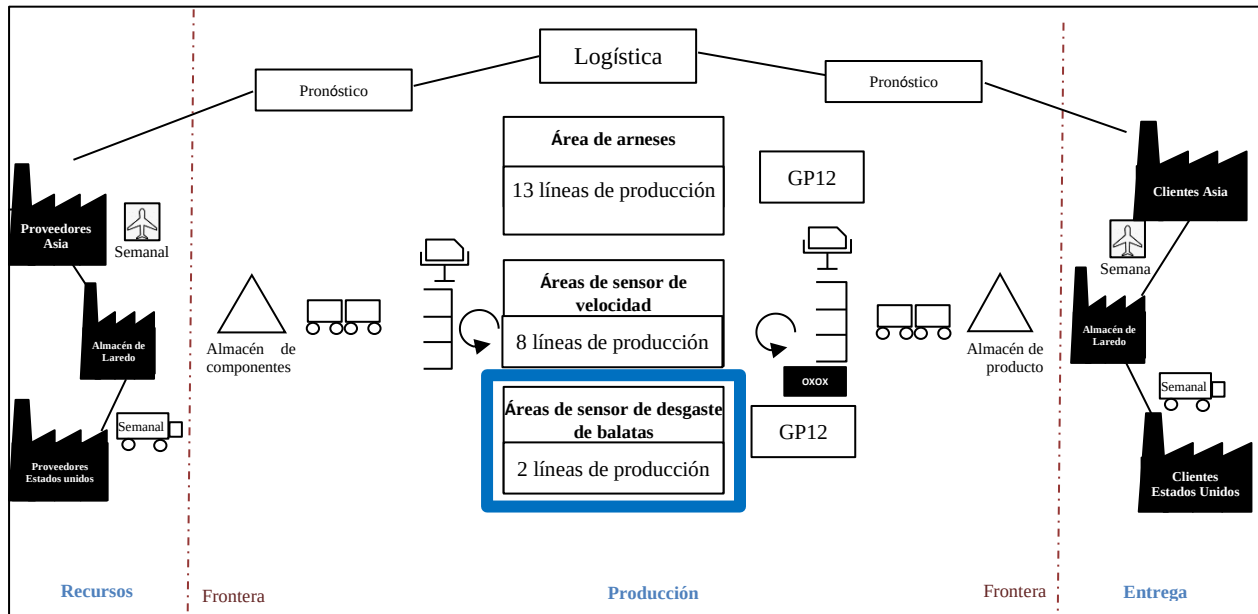


Figura 1. Mapa de proceso de la unidad de manufactura 2 de la Empresa Automotriz

Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 2* se muestra de igual manera gráficamente el mapeo de proceso del área de manufactura del sensor de desgaste de balatas, siendo señalada en el recuadro color azul la línea de producción número 1 donde se estará efectuando el presente proyecto.

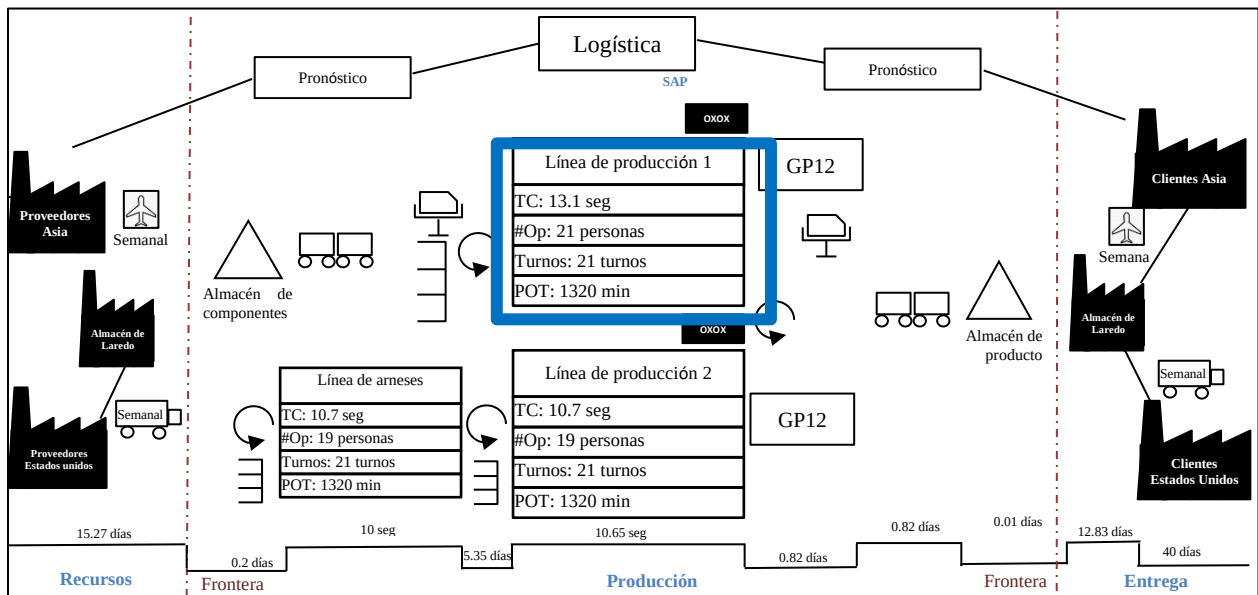


Figura 2. Mapeo de proceso del área de manufactura de sensor de desgaste de balatas

Fuente: Elaboración propia

Esta área es conformada por distintos departamentos de soporte con diferentes competencias profesionales que apoyan para la elaboración del producto. Cabe mencionar que se inició producción del sensor de desgaste de balatas en marzo del 2018, siendo hasta el día de hoy la primera y única localidad en San Luis Potosí que fabrica este producto, por lo que se considera planta líder propiedad de la Empresa Automotriz. Este sensor se embarca hacia la región del norte de América y parte de Asia, instalándose en vehículos de gama alta. Hoy en día se cuenta con una demanda de volumen por parte de cliente promedio de 300,000 unidades al año.

En la *Figura 3* se observan los principales departamentos de soporte que tienen relación con el departamento de producción quien es el que se encarga de manufacturar las partes, el resto de los departamentos tienen funciones específicas que tienen como objetivo facilitar la fabricación de las partes, en este caso el sensor de desgaste de balatas. El presente trabajo se realiza en el área productiva, pero desde el enfoque del departamento de calidad.

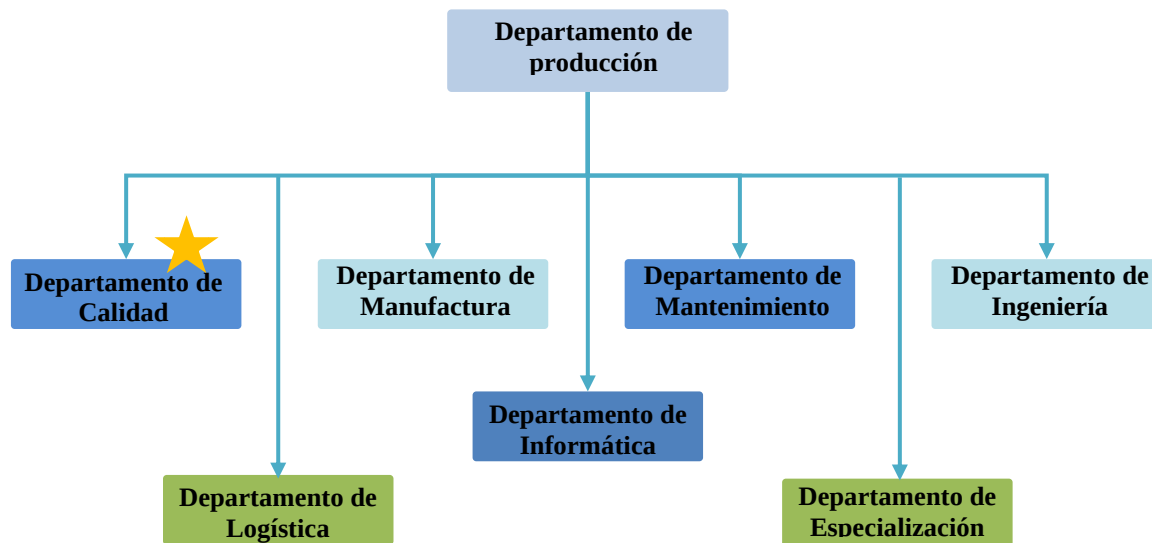


Figura 3. Relación de los departamentos en la organización.

Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 4* se muestra un dibujo 3D de un prototipo del sensor de desgaste de balata, este sensor es instalado en las balatas del vehículo para determinar e indicar el estado de desgaste de estas en el tablero eléctrico del coche y asegurar su reemplazo oportuno cuando llega al final de su vida. Como información adicional, el sensor se considera como un componente de confort para el vehículo y no de seguridad debido a que no interfiere directamente en el frenado de las llantas.

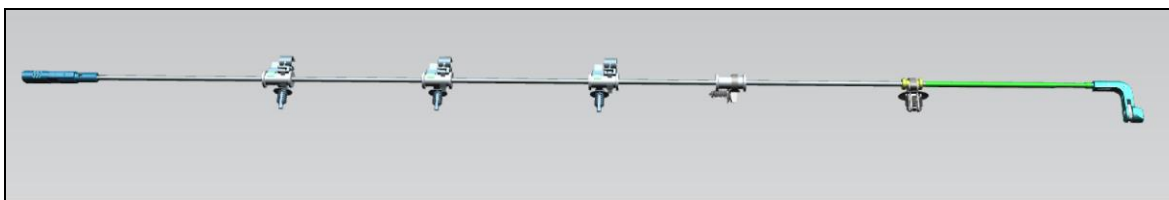


Figura 4. Sensor de desgaste de balata

Fuente: Elaboración propia

Las líneas de ensamble para este producto constan de 18 operaciones generales para los distintos números de parte del producto. En la *Figura 5* se puede observar el esquema de la distribución de estas operaciones de la línea de manufactura, las cuales se enumeran de la siguiente manera:

- | | |
|---|---|
| 1.- Desenrollado de cable | 10.- Crimpado de terminal de sensor |
| 2.- Crimpado de terminal de conector | 11.- Moldeo de base |
| 3.- Moldeo de conector | 12.- Corte de marco |
| 4.- Ensamble de doble de goma | 13.- Soldado de puente |
| 5.- Ensamble doble de clip | 14.- Moldeo de cabeza de sensor |
| 6.- Inspección de pines y marcado láser | 15.- Moldeo de goma |
| 7.- Ensamble doble de cintillo | 16.- Inserción de clip y prueba funcional |
| 8.- Ensamble de cintillo | 17.- Inspección final |
| 9.- Corte e inserción de manga | 18.- Empaque |

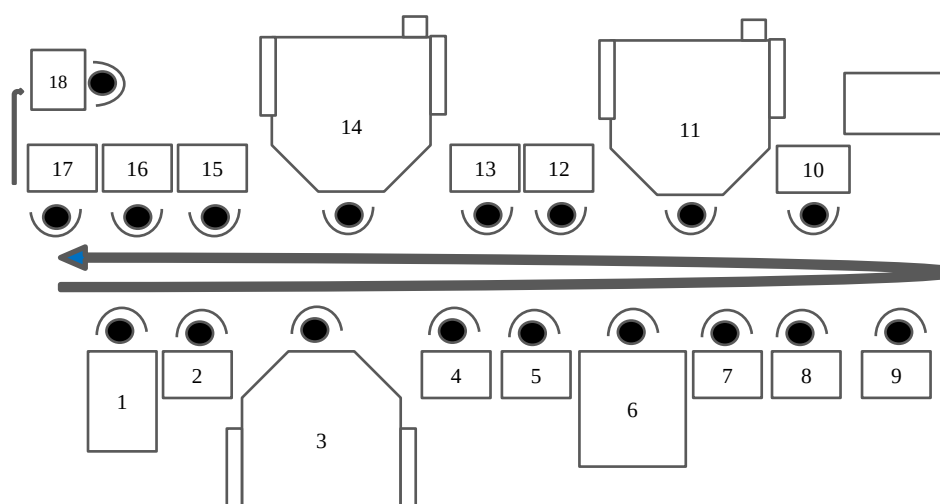


Figura 5. Configuración de línea de ensamble del sensor de desgaste de balata.

Fuente: Elaboración propia

Al iniciar cada turno de trabajo, el líder de la línea de manufactura realiza una liberación de producto y de parámetros de proceso en cada una de las estaciones antes enlistadas para verificar que no haya desviaciones durante el arranque de producción. Cabe mencionar que también, una vez al turno, una muestra de 8 piezas es auditada por el inspector de calidad en base a un formato de auditoría donde se especifican las características más importantes como producto final para determinar si el sensor de desgaste de balatas cumple con las especificaciones de cliente y pueda ser embarcado al cliente.

Dentro de los principales indicadores clave de proceso (ICP) del área de manufactura del sensor de desgaste de balata se encuentran los siguientes 3:

1. **ETE (Efectividad Total de los Equipos)**, es la razón porcentual que mide el aprovechamiento de la maquinaria industrial dentro de un proceso.
2. **CDI (Costo de Defecto Interno)**, se refiere al porcentaje de costo generado por defectos internos
3. **Productividad**, se refiere al resultado del proceso, donde se generan salidas como: productos elaborados, calidad de estos, costo y tiempo que toma elaborarlos, etc. y la relación entre los insumos. (Socconinni Pérez Gómez, 2019)

En la *Figura 6* se observa el diagrama SIPOC (Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customer por sus siglas en inglés), con el objetivo de representar gráfica y específicamente el proceso de manufactura de este sensor desde la entrada de la materia prima hasta la salida del producto.

Nombre del Proceso: Fabricación de sensor de balatas	
Objetivo:	Fabricar un sensor de balatas de acuerdo con las especificaciones de cliente
Documentos Relacionados	Dibujos de ingeniería, normas y procedimientos externos e internos

Puestos involucrados:
Producción, Calidad, Manufactura, Mantenimiento, Ingeniería, Logística, Informática



Figura 6. Diagrama de entradas y salidas del proceso de sensor de desgaste de balata.
Fuente: Elaboración propia

La presente investigación se realiza a través de la experiencia profesional dentro del proceso y producto del área mencionada y se estudiarán las condiciones actuales buscando repercutir en la mejora continua dentro de la organización para contribuir a que la Empresa Automotriz sea más eficiente, competitiva e innovadora.

1.2. Problemática

Dentro de las líneas de producción del área se generan una gran cantidad de datos con información relevante del proceso de forma diaria que son propios del proceso de manufactura del producto y del proceso y sin embargo, estos no son revisados ni analizados de manera objetiva o en tiempo adecuado por el personal de los departamentos de soporte y a su vez de la gerencia, ya que esta información generada no se estructura de manera clara poder visualizar el comportamiento o rendimiento de la línea de producción y por lo tanto esta información no se usa para la toma de decisiones de manera inteligente en solución de problemas y/o designación de recursos que pueda favorecer la mejora continua en el área y sus indicadores claves de proceso.

Actualmente, la mayoría de esta información cuantitativa es plasmada en registros en papel, generando un gran volumen de hojas, es decir, se cuenta con una base de datos, pero no cuenta con la forma para que sean revisado o analizado y termina siendo parte del archivo muerto almacenado por un periodo de 10 años de acuerdo con el Sistema de Gestión de Calidad para trazabilidad y legalidad del producto. Esta situación se convierte en un problema ya que los datos obtenidos se desaprovechan debido a que son difíciles de manipular al encontrarse en un registro impreso, además de que a simple vista representa un contaminante visual para quien decida examinarla, debido que esta información es abundante y no se encuentra organizada, por lo que lo vuelve complicado siquiera de observar.

Describiendo la situación actual del área de manufactura, donde obtienen información a gran escala es preciso realizar un trabajo de investigación que permita recabar la información necesaria realizando un análisis adecuado para conocer el comportamiento del proceso para intentar descubrir patrones en grandes volúmenes de datos. Sin embargo, se deberá de seleccionar la información definida como relevante que ayude a conocer la conducta del proceso de manufactura y del producto en cuestión.

1.2.1. Preguntas de investigación.

- ¿Cuál es la información relevante del proceso de manufactura para determinar el comportamiento de la línea de producción?
- ¿Qué tipo de representación gráfica es la más adecuada para la visualización de la información?
- ¿Cuáles son los indicadores clave de proceso que serán impactados por el análisis e interpretación de la información?

1.3. Justificación

El presente trabajo busca examinar a detalle en alguno de los programas estadísticos con los que cuenta la Empresa Automotriz como método de análisis y de visualización de la información y explotar las herramientas que ofrece este programa de manera que podamos obtener los beneficios de conocer el comportamiento de diversas variables del proceso de manufactura a la vez y/o la relaciones entre ellas.

De igual manera, se pretende que sea la primera línea de producción de la compañía que ponga en funcionamiento estas herramientas y bajo ese enfoque y a su vez, que el proyecto sea un parteaguas que sirva como base para la implementación y estandarización de este a otras áreas de manufactura, y a su vez, guiar a través de la experiencia y lecciones aprendidas durante el desarrollo del trabajo para cualquier incertidumbre que pudiera originarse en el futuro.

Se busca también, mejorar la administración y gestión de la información de los procesos de manufactura, así como el procesamiento y el resguardo de esta de manera digital y volverla accesible para todos los departamentos de soporte involucrados con el producto para que sirva de apoyo para la toma de decisiones o asignación de recursos para la mejora del área debido a que serán basados en datos reales recolectados y estudiados.

Además, con este proyecto se desea tener un sistema confiable y apropiado para la validación de acciones correctivas en los procesos de manufactura realizando una comparación entre una situación anterior y posterior a la implementación de estas acciones al analizar los datos obtenidos respectivamente en esos periodos.

En un ámbito sociotécnico, ayudará a las personas que participan directamente en el proyecto a generar un desarrollo en el conocimiento y habilidad de las herramientas usadas a través del involucramiento en la fase de conceptualización e implementación. Esto ayudará también al desarrollo profesional del empleado motivándolo al ver resultados que pudieran ser

positivos a través de su respectiva aportación durante el trabajo, de igual manera se desea dar el empoderamiento al personal de calidad para la toma de decisiones en el turno que laboran.

En un aspecto externo, social y académico, el presente trabajo se considera como guía y/o apoyo para realización de otras investigaciones similares, así como material de consulta para estudiantes debido a que conlleva la aplicación del concepto de ciencia de los datos a un proceso real de manufactura del ramo automotriz a través de la colecta y análisis de la información, sin un incremento de los recursos de capital humano y considerando un impacto positivo que pudiera tener como aportación a la toma de decisiones inteligentes al logros de los objetivos del negocio.

Como impacto ambiental se presente contribuir a la reducción de uso de papel en el área llevando la información de forma física a electrónica sin afectar su resguardo de acuerdo con el sistema de gestión de calidad para trazabilidad y legalidad del producto.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar un método sistemático basado en la minería de datos para análisis y visualización de la información del comportamiento del proceso de manufactura mediante la implementación de un programa estadístico que apoye a la toma de decisiones en el área que impacte en los indicadores claves de proceso.

1.4.2. Objetivos específicos

Del objetivo general se desprenden los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar la información relevante de los procesos de manufactura y del producto que describen de mejor manera el comportamiento de la línea de producción.
2. Determinar el modelo de visualización adecuado para la representación gráfica de la información que permita la mejor interpretación y comprensión de ésta.
3. Determinar los indicadores clave de proceso que serán impactados una vez analizada e interpretada la información.

1.5. Alcance

El desarrollo del presente trabajo llegará hasta la implementación de un sistema de visualización a través de un programa estadístico para la línea de producción 1, dentro del área del sensor de desgaste de balatas, no se considera la línea de producción 2 en este proyecto. Se contempla una fase de monitoreo de seis meses posteriores a la implementación donde se observará la perdurabilidad y consistencia del sistema implementado. Además, se estará incluyendo las actividades de entrenamiento al personal técnico para el uso de las herramientas y se presentará el modelo sistemático al personal involucrado de las diferentes áreas de soporte mencionadas en la sección de antecedentes mediante una reunión inicial de “despliegue” con la alta gerencia.

El proyecto no contemplará la resolución de los problemas o áreas de oportunidad encontrados durante el análisis de la información obtenida de la línea de producción, no se abordará la estandarización del proyecto en otras líneas de producción pertenecientes a la misma unidad de manufactura u otras áreas dentro de la Empresa Automotriz.

Los supuestos para este trabajo son:

- Los registros que servirán para la recolección de la información son fuentes confiables y proporciona datos reales.
- Los equipos e instrumentos de medición que serán usados para la recolección de la información están calibrados de acuerdo con el sistema de gestión de la calidad considerando la evidencia de la etiqueta de calibración en dichos equipos e instrumentos.

1.6. Limitaciones

Como se mencionó en los antecedentes, el área cuenta con dos líneas de producción para el producto del sensor de desgaste de balata; en este trabajo se tiene previsto el análisis de la información en la línea número uno de producción, donde se manufacturan los modelos más

complejos del producto y la información analizada será la que se genere en el segundo semestre del año 2020 y parte del primer semestre del 2021.

Se estarán considerando los 3 turnos de trabajo diario durante los 7 días laborales de la línea de producción y 4 grupos de trabajo para la recolección de la información que será usada en la investigación. Sin embargo, también se consideran los paros técnicos por días festivos y mantenimientos preventivos programados que pudiese tener la línea de producción.

Capítulo 2. La minería de datos como herramienta para encontrar tendencias y patrones para la mejora de los procesos

En esta sección se estará usando un Marco Normativo para mostrar los lineamientos con los cuáles se conducirá el trabajo, para continuar con el Marco Conceptual donde se verán los conceptos clave para la comprensión del contenido y a su vez, se especificará el Marco Tecnológico sobre las herramientas que se estarán usando para la ejecución de la investigación. Después se pasará al Marco Metodológico, donde se establecerá las bases para la implementación de este estudio.

2.1. Marco Normativo

Dentro del Marco Normativo de este trabajo se encuentra las siguientes normas:

- IATF-16949:2016. International Automotive Task Force (Estándar internacional en la Industria Automotriz para la Gestión de Calidad), la cual es uno de los estándares internacionales más utilizados en la industria automotriz para la gestión de la calidad (Automotive Industry Action Group, n.d.). Debido a que la compañía donde se estará desarrollando el presente trabajo pertenece al ramo automotriz es elemental que este alineado bajo esta norma para futuras referencias o auditorías a la empresa.
- Norma-ISO 9001:2015 Quality Management Systems (Sistemas de Gestión de la Calidad) el cual especifica los requisitos para un sistema de gestión de calidad en una organización para demostrar la capacidad de la organización en proporcionar constantemente productos y servicios que cumplan con los requisitos legales y reglamentarios aplicables para el cliente, así como mejorar la satisfacción del cliente a través de la aplicación efectiva del sistema, incluido los procesos para la mejora del sistema y el aseguramiento de la conformidad con el cliente. Los requisitos de esta norma son genéricos y están destinados a ser aplicables a cualquier organización independiente de su tamaño o tipo y los productos o servicios que proporciona (International Organization for Standardization, s.f.).

2.2. Marco Conceptual

En los siguientes párrafos a continuación, se enlistan y describen algunos conceptos significativos para la comprensión del trabajo.

Proceso de Manufactura

El proceso de manufactura o de producción es el conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados. Durante el proceso se usan recursos desde activos físicos a capital humano pasando por capital financiero, capital organizativo, capital tecnológico, sin los cuales es imposible la transformación de entradas en resultados. Los elementos de entrada para un proceso pueden ser resultados de otros procesos (Camisón, Cruz, & González, 2006).

Estación de trabajo u operación

Es un elemento dentro de una línea de producción donde se ejecuta el proceso de manufactura.

ICP

El Indicador Clave de Proceso es el métrico que permite el seguimiento de los procesos de la mejora continua de las empresas (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013).

CDI

El Costo de Defecto Interno es el indicador clave de desempeño que generó la Empresa Automotriz para determinar la relación del % de los costos por defectos del producto generados en la línea de producción y los costos de las piezas producidas en la línea de producción, por lo tanto, se calcula:

$$CDI = \frac{\text{Costo de productos con defectos}}{\text{Costo de productos manufacturados}} \text{ (Ecuación 1)}$$

ETE

La Efectividad Total de los Equipos es un indicador que se calcula diariamente en un equipo o grupos de máquinas y establece la comparación entre el número de piezas que podrían haberse producido, si todo hubiera ido perfectamente, y las unidades sin defectos que realmente se han producido. Para la utilización de este indicador, se utilizan los índices de Disponibilidad, Eficiencia y Calidad. ETE es el producto de estos tres índices, de manera que:

$$ETE = D * E * C \text{ (Ecuación 2)}$$

El Coeficiente de Disponibilidad (D) es la fracción de tiempo para el equipo está operando realmente reflejando las pérdidas por averías y paradas. Para su cálculo se parte del tiempo disponible, que es el tiempo total de operación menos el tiempo muerto o planificado, tal como la interrupción del programa de producción, tiempos de descanso. El tiempo operativo es el tiempo de carga menos el tiempo que la máquina esta parada debido a averías, preparaciones, ajustes y otras paradas.

El Coeficiente de Eficiencia (E) mide el nivel de funcionamiento del equipo contemplando las pérdidas por tiempos muertos, paradas menores y perdidas por una velocidad operativa más baja que la de diseño.

Por último, el Coeficiente de Calidad (C) mide la fracción de la producción obtenida que cumple los estándares de calidad reflejando aquella parte del tiempo empleada en la producción de piezas defectuosas o con errores (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013).

Característica o variable (calidad).

Característica inherente o asignada a un objeto relacionada con un requisito. La característica puede ser cualitativa o asignada. Existen varias características como las siguientes (International Organization for Standardization, 2015):

- a) Físicas. (por ejemplo, características mecánicas, eléctricas, químicas o biológicas)
- b) Funcionales (por ejemplo, velocidad, resistencia, corriente)

Defecto (de calidad)

No conformidad, relativa a un uso previsto o especificado (International Organization for Standardization, 2015)

Especificación (calidad)

Una especificación puede estar relacionada con actividad (por ejemplo) un documento de procedimiento, una especificación de procesos y una especificación de ensayo, o con productos (por ejemplo, una especificación de producto, a especificación de desempeño y un plano). Puede que, al establecer requisitos una especificación este estableciendo resultados logrados por el diseño y desarrollo y de este modo en algunos casos puede utilizarse como un registro (International Organization for Standardization, 2015).

Auditoría (calidad)

Proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias objetivas y evaluarlas de manera objetiva con el fin de determinar el grado en el que se cumplen los criterios de auditoría. Los elementos fundamentales de la auditoría incluyen la determinación de la conformidad de un objeto de acuerdo con un procedimiento llevado a cabo por el personal que no es responsable del objeto auditado (International Organization for Standardization, 2015).

Equipo de medición

Instrumento de medición, programa, patrón de medición, material de referencia o equipos auxiliares o combinación de ellos necesarios para llevar a cabo un proceso de medición (International Organization for Standardization, 2015).

Diagrama SIPOC

El SIPOC es un acrónimo para (M. Borrór, 2009):

- Suppliers (Proveedores): Aquellos que brindan aportes al proceso, incluidos materiales, recursos, servicios, información, etc.
- Inputs (Entradas): Materiales, servicios, recursos, información.
- Process (Proceso): Descripción del proceso y listado de todos los pasos clave del proceso.
- Outputs (Salidas): Productos, información, servicios, etc.
- Customer (Clientes): Los que reciben los resultados. Los clientes pueden ser internos o externos.

2.3. Marco Tecnológico

En este apartado se enlistan y describen las tecnologías de información utilizadas en el presente trabajo.

- Las revisiones de los dibujos de manufactura del producto ofertados con cliente se consultarán en la plataforma de SAP *logon for Windows 2019* para confirmar las especificaciones del producto y usar esa información como apoyo para la verificación de la condición real del producto
- Para el manejo de la información que se recolectará hay múltiples programas estadísticos de cómputo que cumplen con las características para desarrollar este trabajo, se puede utilizar: MINITAB, SPSS, SUPERCEP, qs-STAT, Microsoft Excel

entre otros, los cuales son programas utilizados para un enfoque estadístico de la información, así como para la evaluación de procesos y sistemas. (Group, 2020).

- Se usará Microsoft Excel 2016, como apoyo para la realización de tablas de datos.
- Para las reuniones por teleconferencia con el equipo multidisciplinario (manufactura, ingeniería y calidad) se usará la aplicación SKYPE, el cual es un programa que permite la comunicación con el equipo de trabajo a través de mensajes, llamadas de video y voz. (Microsoft, 2020)

2.4. Marco Metodológico

A continuación, se explica el concepto general de la minería de datos a través de los criterios de *Científico de datos* y *Gran volumen de datos*, después se abordan 3 metodologías usadas para el proceso de minería de datos.

2.4.1 Científico de datos

Cualquier empresa posee información que se genera en un alto volumen que pueden ser usados para obtener conocimiento de sus procesos, es por lo que para las empresas se vuelve un reto muy grande desarrollar las estrategias que mejoren la capacidad de analizar esta información para filtrar o manipular la información relevante. El científico de datos busca entender que son los datos que se generan y a su vez, observar lo que representan el conjunto de estos datos, por lo que aún si se usa la mejor y última tecnología no servirá de nada si no se comprende la información que será recolectada (Álvarez Jareño José Antonio, 2018).

Por lo tanto, la ciencia de datos es una disciplina que ha tomado auge en los últimos años que busca descifrar el valor intangible de los datos, de manera que se requiere tener las habilidades, conocimiento y experiencia que provee esta ciencia para procesar, analizar y visualizar de forma razonable la información estructurada y no estructurada, muchos de los datos que se analizan son históricos con lo que incluso, se pretende tener predicciones a futuro mediante el comportamiento observado de manera que se puede tener alertas para poder tener una reacción.

Una vez que la información es analizada puede tomar un papel muy importante como herramienta para la toma de decisiones inteligentes para la designación y administración de recursos, optimización de los procesos o la mejora de la calidad en un producto. Se dice que son decisiones inteligentes porque se basan en hechos y no en especulaciones. La ciencia de datos abarca toda la manipulación de los datos en bruto, la recolección de los datos, proceso de limpieza, algoritmos para descubrir patrones y la habilidad de mostrar estos patrones. Actualmente se pueden usar muchos dispositivos inteligentes para el recopilación, procesamiento y comunicación de la información en tiempo real dentro de las organizaciones que ayudan a un incremento de la productividad, gestionar los recursos, incrementar la

competitividad en productos o servicios e incluso la reducción de costos (Liao Xiaoqun, 2020).

2.4.2. Grandes volúmenes de datos

Grandes volúmenes de datos se refieren a la disponibilidad de una gran cantidad de información estructurada y no estructurada, contempla la variedad y la velocidad de cómo se genera esta información. Dentro de las organizaciones cada vez más se convence de que el “gran volumen de datos” puede ser usado como una herramienta de tomas de decisiones en varias áreas.

Los datos hoy en día son diversificados y se multiplican conforme pasa el tiempo, el procesamiento de estos datos se vuelve un reto al analizar grandes volúmenes de información en tiempo real. Se conoce como las 5 V's a las características que caracterizan al concepto del “gran volumen de datos”:

- Velocidad a la cual se generan los datos.
- Volumen, tamaño de los datos generados
- Variedad, tipos de datos
- Valor, buen acceso a la información
- Veracidad, confiabilidad de los datos

Ciertamente la tecnología ha desempeñado un rol importante para el concepto de gran volumen de datos puesto que es posible el almacenamiento de grandes cantidades de información a través distintos programas o plataformas de internet, dependiendo del tipo de información se pueden capturar en hojas de cálculo o en plataformas personalizadas de tal manera que las organizaciones pueden acceder a ellas tan pronto como se requiera (Fabrizio, 2014).

Esto conduce a saber que es importante conocer la tecnología que se encuentra disponible y saber cómo utilizarla para el manejo de la información.

2.4.3. Minería de datos

La minería de datos es una disciplina que estudia los métodos que permiten la extracción automática de información significativa y sintetizada que permite observar las relaciones entre la cantidad de datos, de acuerdo con la minería de datos se encuentran diversas técnicas estadísticas enfocadas a la visualización, análisis y modernización de información de bases de datos grandes, también refiere a la extracción de datos relevantes a partir de un conjunto de datos para lograr un beneficio.

Algunas de las aplicaciones de la minería de datos convergen en datos previamente recolectados, es decir los datos no cambian conforme se van analizando, los resultados generados son confiables y consistentes para ese conjunto de datos que tuvo lugar en un tiempo pasado (Beltrán Martínez).

La minería de datos mezcla técnicas de semiautomáticas, análisis estadístico, base de datos, y visualización gráfica para la obtención de información, por lo que la minería de datos descubre relaciones, tendencias, desviaciones, comportamientos atípicos, patrones y trayectorias con el objetivo de ayudar al proceso de toma de decisiones con un mayor conocimiento.

Dentro de la importancia de la minería de datos se encuentra el procesamiento de la información en conocimiento útil para el negocio a manera de extraer los patrones de comportamiento que permanecen ocultos entre grandes cantidades de información a través de muchas veces del uso de la estadística.

La minería de datos presenta varias metodologías donde la diferencia entre estas no está en la esencia, pero si en la presentación e implementación. Estos sistemas básicamente pasan por las mismas etapas: colecta de datos, depuración y análisis, generación de un modelo descriptivo y en caso de que se desee, los resultados pueden ser utilizados para construir un modelo predictivo (Vieria Braga, Ortiz Valencia, & Ramírez Carvajal, 2009).

Es evidente que actualmente la información generada en las organizaciones rebasa la capacidad humana para su análisis completo, es por eso por lo que se hace uso de herramientas o aplicaciones automatizadas que puedan ejercer esta capacidad para procesar la información y sea capaz de descubrir el valor potencial de los datos existentes que sea significativa para el empleo de estos. De igual manera, la utilidad de las aplicaciones es que se pueda conseguir una recuperación de la información en el momento que se requiera y que a su vez sea interactivo con la capacidad de manejar grandes cantidades de datos.

El proceso de la minería de datos se inicia con la identificación de la información y la ubicación de ésta, es decir conocer donde se puede encontrar o extraer los datos una vez que se seleccionen cuáles de ellos son útiles. Cuando se llega a esta etapa se deberá definir qué tipo de técnica o herramienta será la más apropiada para el manejo de esta información y que puede contribuir al logro de los objetivos deseados (García Herrero Jesús, 2012).

Entre los métodos de más usados para la minería de datos se encuentran las herramientas estadísticas y el aprendizaje automático, también se considera la visualización, procesamiento en paralelo, además del apoyo a la toma de decisiones.

Cuando se llega a una etapa de mostrar la información dentro de una compañía o negocio, normalmente se vuelve complicado para el analista o interprete la presentación de esta información con buena síntesis y cierta claridad. Esta presentación puede ser a través de una comunicación visual, multimedia, volumétrica, o publicada en ciber medios para que se entienda bien el contenido. En sí, la visualizar se refiere a una representación mediante imágenes ópticas fenómenos de otro carácter, por lo que podría referirse a cualquier forma icono visual y estética para simbolizar

2.4.4. Modelo CRISP-DM para minería de datos

El Modelo CRISP-DM (o Cross Industry Standard Process for data Mining por sus siglas en inglés) es uno de los más utilizados en el desarrollo de un proyecto de minería de datos. Este modelo está dividido en 6 fases y cada fase contiene tareas específicas como lo muestra la *Figura 7*.

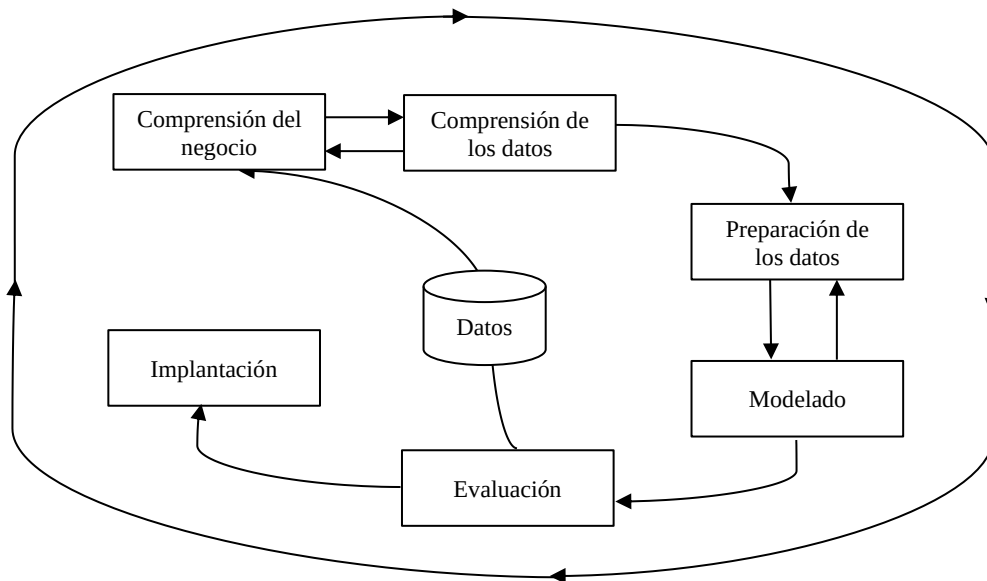


Figura 7. Modelo CRISP-DM para minería de datos
Fuente: (Gallardo Arancibia, 2009)

Las fases se explican de manera general a continuación:

2.4.4.1. Fase de comprensión del negocio

En esta fase se determinan los objetivos del negocio se desarrollan las metas y se determina cual es el problema que se desea resolver y se determinan los criterios de éxito, los cuales pueden ser cualitativos donde un experto del dominio califica el resultado del proceso de minería de datos o puede ser del tipo cuantitativos. A su vez, se evalúa la situación antes de iniciar con el proceso de minería de datos, se definen los requisitos supuestos y restricciones del proyecto.

2.4.4.2. Fase de comprensión de los datos

En la segunda fase se inicia con la recolección inicial de los datos, se identifica la calidad de estos y se establece la relación que permita generar la hipótesis. Dentro de las tareas específicas en esta etapa se encuentra la recolección de los datos iniciales y su adecuación para su procesamiento posterior donde se realiza una lista de los datos requeridos, donde se localizan y las técnicas usadas para su recolección, así como los problemas y soluciones inherentes a este proceso. Una vez que los datos se adquieren se procede con su exploración el cual tiene el fin de estructurar de manera general la información, donde se involucra la aplicación de la estadística básica para determinar la consistencia de los valores obtenidos.

2.4.4.3. Fase de preparación de los datos

Una vez que se recolectan los datos iniciales se procede a prepararlos, es decir realizar una limpieza de los datos, integración de diferentes orígenes de datos y cambios de formato. La limpieza de los datos es la tarea que mayor esfuerzo requiere debido a la diversidad de técnicas que pueden aplicarse para optimizar la calidad de los datos. También se incluye la integración de los datos para generar atributos de los ya existentes se integran nuevos registros o transformación de valores para atributos existentes sin modificar su significado, por ejemplo, eliminar comas, tabuladores, caracteres especiales, etc.) Esta fase interactúa de manera permanente con la siguiente fase de modelado.

2.4.4.4. Fase de modelado

En esta fase se seleccionan las técnicas más adecuadas para modelar los datos recolectados que dependerán de las características propias de estos y de la precisión que se quiera lograr con el modelo, por lo que se debe de considerar el objetivo del proyecto definido. También se considera un plan de prueba donde se evaluará la calidad y validez del modelo, a su vez se realiza una interpretación del modelo de acuerdo con el conocimiento del dominio y los criterios de éxito definidos previamente.

2.4.4.5. Fase de evaluación

En la quinta fase se realiza la evaluación del modelo en base al cumplimiento de los criterios de éxito del problema vistos en la primera fase, se considera la fiabilidad de los datos sobre los que se realiza el análisis, se revisa el proceso en base a los resultados obtenidos en caso de que se requiera repetir algún paso anterior debido a algún error generado. En cuanto a la evaluación de los resultados se revisa la exactitud y se califica todo el proceso realizado con el objeto de identificar los elementos de mejora. Si los resultados son satisfactorios se procede con la fase siguiente.

2.4.4.6. Fase de implementación

En la última fase del Modelo CRISP-DM y una vez que se ha logrado las fases anteriores se transforma el conocimiento obtenido en acciones dentro del negocio, es decir se realiza la recomendación de las acciones pertinentes basadas en la observación de los resultados obtenidos, también se considera un proceso de documentación y presentación de los resultados de una manera comprensible para los usuarios para compartir el conocimiento adquirido. Además, se involucra un plan de implementación de los resultados, estrategias de monitoreo y mantenimiento para ser aplicados posteriormente a la implementación, se incluye un informe de la conclusión del proyecto con los resultados.

2.4.5. Modelo SEMMA para minería de datos

La metodología SEMMA (o por sus siglas en inglés Sample, Explore, Modify, Model, Assess) define un proceso de selección, exploración y modelado para un gran volumen de datos con el objetivo de descubrir patrones de interés. Este modelo consiste en 5 etapas para llevar a cabo el proceso de minería de datos, la *Figura 8* muestra estas etapas:



Figura 8. Modelo SEMMA para minería de datos
Fuente: (Braulio Gil & Cuto Díaz, 2015)

A continuación, se explican de manera general cada etapa:

2.4.5.1. Etapa de muestreo

En esta etapa se toma una muestra de los datos disponibles, los cuales deben ser representativos para contener la información relevante, es decir, la información será con características significativas, pero a su vez, debe ser pequeña para que los datos puedan ser procesados de manera rápida, por lo que el modelo se aconseja para casos donde el tamaño de los datos sea demasiado extenso.

2.4.5.2. Etapa de exploración

En esta etapa se procede a explorar los datos con el fin de buscar relaciones, tendencias o patrones desconocidos entre las variables o en su defecto anomalías. También sirve a su vez, para familiarizarse con los datos y si es preciso realizar formulaciones de hipótesis a partir de su análisis.

2.4.5.3. Etapa de modificación

Esta etapa precisa a una preparación de los datos que implica una limpieza de los valores atípicos que se pudieran tener, se realiza un tratamiento de los datos faltantes y se seleccionan, crean o modifican las variables que serán usadas en la siguiente etapa con el objeto de transformar las variables de acuerdo con las necesidades del modelo.

2.4.5.4. Etapa de modelado

La etapa de modelado consiste en la creación del modelo para la predicción del conjunto de variables involucradas, se utilizan algunas de las técnicas como arboles de decisión, redes neuronales, análisis de regresión, etc. para buscar resultados.

2.4.5.5. Etapa de evaluación

En la última etapa se realiza la evaluación de la utilidad y la exactitud de los modelos que se obtuvieron durante el proceso de minería de datos, puede analizarse la capacidad predictiva de estos. Se pueden utilizar reportes para mostrar los resultados pertinentes.

2.4.6. Modelo KKD de minería de datos

El modelo KKD (o por sus siglas en inglés Knowledge Discovery in Database) se usa para la minería de datos como método para extraer el conocimiento de una base de datos, se consideran 5 etapas interactivas, donde se define un objetivo y se considera el inicio de un nuevo ciclo del proceso después de los cambios que se realicen a partir del conocimiento adquirido.

En la *Figura 9* se puede observar el proceso general de la minería de datos basado en el modelo KDD.

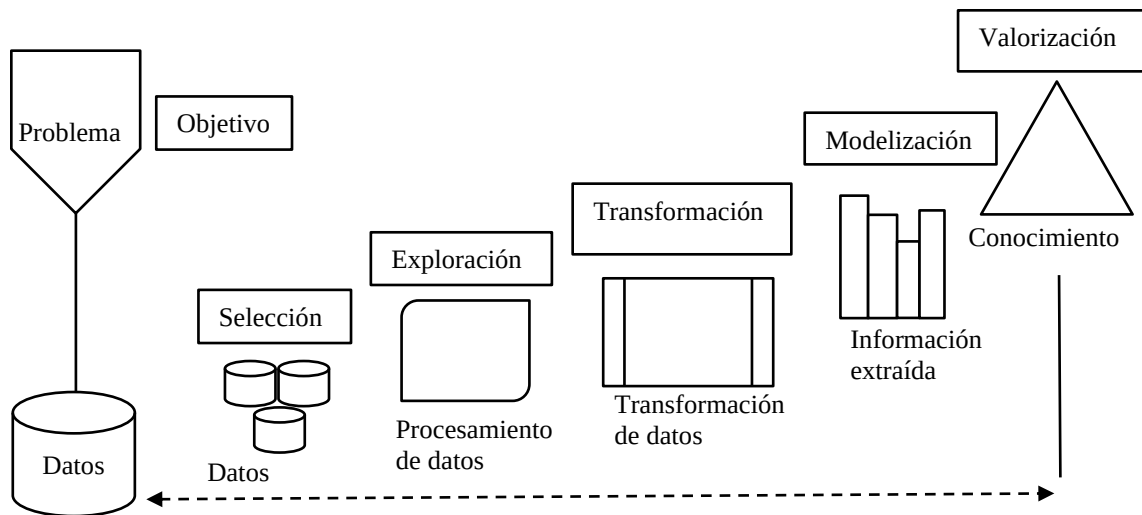


Figura 9. Modelo Knowledge Discovery in Database
Fuente: (Maimon & Rokach, 2005)

A continuación, se explican de manera general cada etapa:

2.4.6.1. Etapa de selección

En este punto se realiza la comprensión del problema o dominio de la aplicación y los objetivos del usuario desde el punto de vista del cliente. Este es un paso se considera como de preparación de la escena para entender el fin de las decisiones que se realicen después de completar el proceso. También se revisa que datos se encuentran disponibles y si es necesario recolectar datos adicionales y se integran a un conjunto de datos, incluyendo los atributos que pudieran considerarse en el proceso. Este proceso es importante ya que la minería de datos aprende y descubre de la información disponible y sirve como evidencia para la construcción de los modelos.

2.4.6.2. Etapa de exploración

En esta etapa se mejora la confiabilidad de los datos, esto incluye una limpieza de los datos, remoción de ruido o valores atípicos para obtener valores consistentes. Se compone también de las operaciones, tales como: recolección de la información necesaria sobre la cual se va a realizar el proceso, decidir las estrategias sobre la forma en que se van a manejar los campos de los datos no disponibles, estimación del tiempo de la información y sus posibles cambios.

2.4.6.3. Etapa de transformación

En esta etapa la generación de los datos se prepara y desarrolla, los métodos incluyen selección y extracción de características, así como muestreo de datos y transformación de atributos como discretización de atributos numéricos y transformación funcional. Este paso puede ser crucial para el éxito del proyecto. En general, se selecciona el método para buscar los patrones en los datos, además incluye la decisión sobre que modelos y parámetros puede ser lo más apropiados.

2.4.6.4. Etapa de modelización

La etapa de modelización consiste en la búsqueda de patrones de interés en una forma de representación particular del conjunto de representaciones, utilizando métodos de

clasificación, reglas o árboles, regresión, agrupación, etc. dependiendo del objetivo del proyecto. En la minería de datos existen dos principales objetivos: predicción y descripción. La predicción se refiere a la minería de datos supervisada mientras que la descriptiva incluye la visualización, pero no la supervisión. En esta etapa se considera la evaluación e interpretación de los patrones, visualización de estos y los modelos extraídos, enfocándose en la comprensión y la utilidad del modelo inducido. En este paso, el descubrimiento del conocimiento se documenta para usos adicionales.

2.4.6.5. Etapa de valorización

Una vez concluido los pasos anteriores se puede incorporar el conocimiento descubierto hacia otro sistema o acciones adicionales. El conocimiento se activa en el sentido que ahora se pueden hacer cambios en el sistema y medir los efectos, es decir, se vuelve dinámico, aunque puede también ser adaptados hacia la presentación de informes a las partes interesadas. Actualmente el éxito de este paso determina la efectividad del proceso completo de KDD, la estructura de los datos puede cambiar y los dominios de los datos puede ser modificados.

2.4.7. Minería de datos como apoyo a la toma de decisiones

Una parte fundamental de las empresas es que adquieran una comprensión de la condición de la organización, desde la perspectiva de sus clientes, mercado, oferta y competencias, las tecnologías que hoy en día se usan proporcionan vistas históricas, actuales y predictivas de las operaciones comerciales. Algunos ejemplos que pueden ser mencionados son: los informes, procesamiento analítico, gestión del desempeño, evaluación comparativa y análisis predictivo. A través de la minería de datos las empresas pueden identificar comportamientos descubrir patrones y tendencias de algún indicador, proceso, recursos. Es por eso por lo que la minería de datos se puede considerar como herramienta de apoyo para la toma de decisiones de la organización que podría eliminar los resultados innecesarios e irrelevantes obtenidos de los procesos específicamente derivado de la etapa de gestión del conocimiento de manera que se pueda manejar eficazmente la información a través del conocimiento adquirido de la organización (Han, Kamber, & Jian).

Entre las ventajas que se muestran al usar la minería de datos como apoyo para la toma de decisiones es aumentar el nivel de competencia de los negocios, tomando como base la velocidad para identificar, procesar y extraer la información que sea relevante de una base de datos de tal manera que su facilidad de uso se pueda aprovechar en cualquier área de conocimiento con el enfoque de resolver problemas y generar resoluciones a los mismos. Dentro de las aplicaciones que las empresas pueden manejar se encuentran dos tipos: aplicaciones que gestionan transacciones y aplicaciones que se basan en la estadística las cuales transforman los datos en información útil, es decir que convierten datos e información no estructurada en información estructurada para que sea analizada y se puede tomar una decisión basada en una interpretación de resultados obtenidos de un gran número de datos.

El valor del uso de la minería de datos radica en la extracción del conocimiento que sea capaz de ayudarnos a comprender los fenómenos que nos rodean, algunos ejemplos que se puede enlistar son: analizar los datos de manera más intuitiva, comparación de datos entre diferentes periodos de tiempo, identificar comportamientos y evoluciones, relacionar resultados, descubrir tendencias e interrelaciones con el objetivo de integrar ese conocimiento adquirido a un sistema real (Marcano Aular & Talavera Pereira, 2007).

2.5. Hipótesis

“La minería de datos apoyada en un programa estadístico se considera que es la herramienta adecuada para realizar el análisis y visualización de los datos generados en la línea de producción motivo de estudio y con ello orientar la mejora del proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas.”

“Los datos históricos recolectados son significativos para describir los procesos de producción del sensor de desgaste de balatas”.

Capítulo 3. Metodología propuesta de la minería de datos y sus herramientas aplicadas a un proceso de manufactura de un sensor de desgaste de balatas.

3.1 Introducción al capítulo

El tipo de investigación que se seguirá en el presente trabajo será basado en el método de Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos (o por sus siglas en inglés Knowledge Discovery in Databases) presentado en el marco metodológico, sin embargo, se realizan ciertas adecuaciones para la adaptación de este método al proceso de manufactura donde se estará implementando. El tipo de investigación será del tipo descriptiva, la recolección de los datos se generó a través de la observación directa dentro de la línea de producción y la naturaleza de los datos será cuantitativa.

De tal manera, se propone un sistema de 4 etapas que se seguirán de forma consecutiva para la implementación del concepto de minería de datos que se escribirán en este capítulo. La metodología propuesta se aprecia en la *Figura 10* donde se especifican los puntos más importantes de cada etapa a continuación:

Gestión de los recursos. - En esta etapa se elige el tipo de programa estadístico que será usado y se consideran todos los requisitos primarios para llevar a cabo la implementación del sistema de análisis y visualización, así como la documentación previa que será útil para la segunda etapa.

Selección de los datos. - Es en este paso donde se determinarán las variables relevantes del proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas que se estarán analizando en este trabajo.

Procesamiento y visualización de los datos. - En esta parte de la metodología se abordará la selección del modelo de visualización para representar de manera gráfica la información, así como la interpretación de esta.

Valorización y extracción del conocimiento. Esta etapa es la más importantes pues es donde se determinará el conocimiento que se ha adquirido una vez analizada la información, así

como la identificación de los indicadores claves de proceso que serán impactados con esta información estructurada.

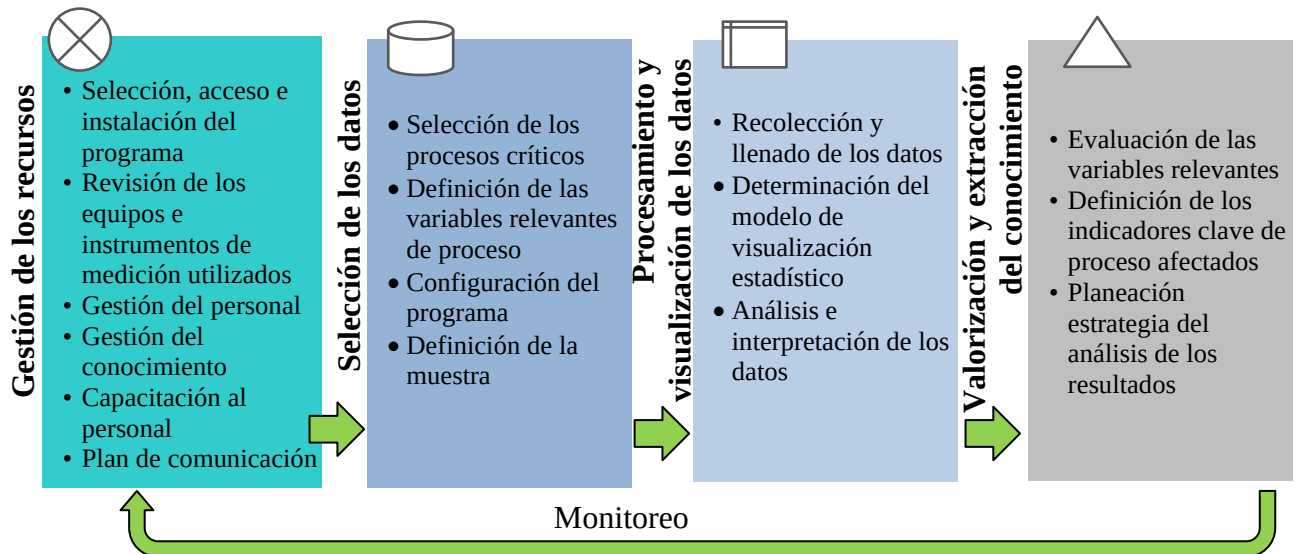


Figura 10. Etapas de la metodología propuesta
Fuente: Elaboración propia

3.2 Metodología propuesta

En este capítulo se detallan los pasos a seguir para cada una de las etapas de la metodología propuesta, para proseguir con las respectivas herramientas que se usarán en cada una de ellas y se definirá los indicadores para evaluar la metodología.

3.2.1 Etapa 1.- Gestión de los recursos

Propósito. *Seleccionar el programa estadístico y revisar los requisitos iniciales en cuanto a recursos se refiere y generar la documentación preliminar para lograr una implementación exitosa del proyecto, así como el despliegue de la información de estos con el equipo de trabajo involucrado.*

Como se ha señalado en el capítulo I el proyecto se desarrolla en una organización de giro automotriz, de acuerdo con la experiencia propia en este tipo de operaciones donde los requerimientos internos y externos a la compañía son muy específicos se sabe que cuando se

desea iniciar con algún proceso nuevo, en este caso la recolección y registro de la información del proceso de manufactura, es conveniente crear un plan de trabajo que permita generar una tarea estandarizada y que permanezca a través del tiempo, con el objetivo de tener los suficientes datos que permitan proseguir con los siguientes fases del proyecto. Haciendo énfasis en la nueva actividad que se desarrollará en el área es evidente la necesidad de realizar una gestión de los recursos que se tengan disponibles en las condiciones actuales. Partiendo desde una perspectiva de trabajo estandarizado se busca que la nueva actividad pueda ser implementada con éxito una vez que sea bien definida y compartida al equipo de trabajo involucrado.

En la *Figura 11* se pueden observar los pasos que comprende la Etapa 1 la cual se denomina Gestión de los Recursos, cada uno se describen de manera general a continuación:

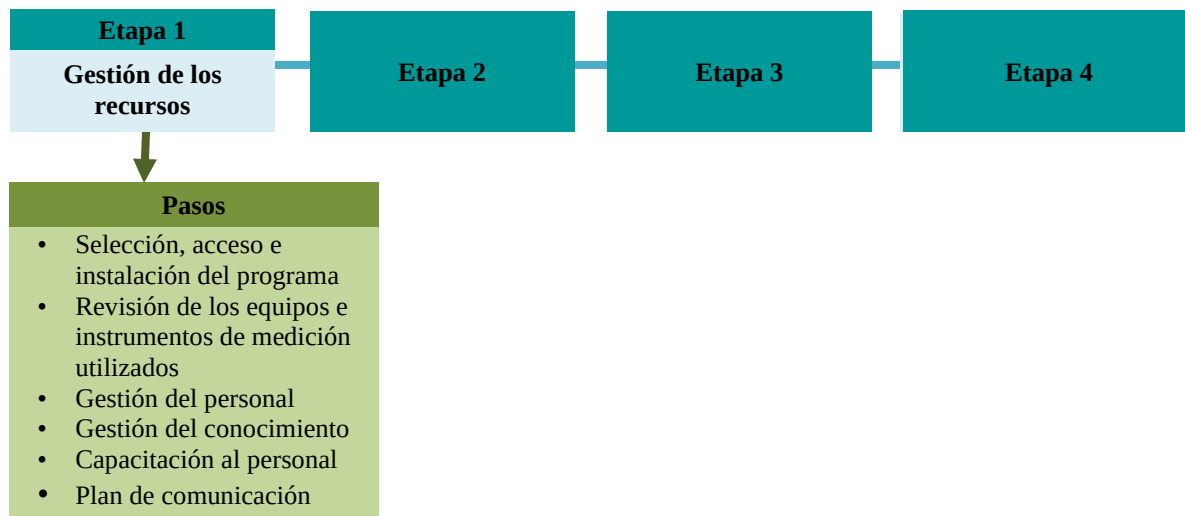


Figura 11. Etapa 1 de la metodología propuesta
Fuente: Elaboración propia

- **Selección, acceso e instalación del programa**

En este punto se revisa el tipo de programa de cómputo que se usará como apoyo para la estructuración de los datos que se estarán recolectando, debe tomarse en cuenta la licencia de uso del programa que se deberá tener por parte de la organización para poder realizar la instalación, aun teniendo diversas opciones será importante definir cuál es el que tendría

mayores beneficios de uso dentro del proyecto. Las características del programa estadístico que se deben tomar en cuenta residen en la capacidad de este para la recopilación de datos, validación de datos, análisis de valores, generación de gráficos que permitan al usuario manejar la información de manera electrónica. Dentro de los programas estadísticos que se podrían considerar se encuentran: Supercep, Minitab, qs-STAT, inclusive Microsoft Excel.

Dentro de los requisitos técnicos y funcionales más importantes del equipo de cómputo que se requiere para la instalación del programa estadístico -independientemente del cual se elegirá- se encuentran;

- Sistema: operativo: De Windows 8 en adelante.
- Memoria RAM: Sistema de 32 bits: más de 2 Gigabyte (o por sus siglas en inglés GB) recomendado, sistema de 64 bits: 2GB mínimo.
- Procesador: al menos Pentium 4 o un procesador compatible, de 1 Gigahercio (por sus siglas en inglés GHz) o más.
- Espacio en disco duro: Al menos 2GB de espacio disponible.

En esta etapa se considera también la revisión de la distribución del área de producción (conocido en inglés como layout), debido a que el equipo de cómputo donde se instalará el programa debe ser localizado estratégicamente dentro de la estructura del área, de tal manera que sea accesible y de fácil acceso para el personal que será responsable de usarlo. Se define también la cantidad de accesos al programa para el personal o si será un usuario para uso en general.

- **Revisión de los equipos e instrumentos de medición**

En esta sección se sugiere realizar una revisión general de la calibración de los equipos e instrumentos de medición que se cuentan en el área de producción con el objetivo de descartar algún valor del proceso o producto que se obtenga a través de estos de manera errónea y que pueda influir en el resultado, de esta manera se eliminan los datos ruidosos. En esta revisión es importante considerar la participación del encargado de los equipos de medición para que

se pueda proporcionar la evidencia requerida de calibración, ya que no se considera realizar el proceso de calibración como parte de este proyecto

- **Gestión del personal**

En esta fase del proceso se designa a la persona que será responsable de interactuar directamente con el programa estadístico, se hace uso del documento de descripción de puesto para que sea compatible con las actividades y funciones que tenga actualmente. Esta persona deberá tener acceso al producto y a las estaciones de manufactura del área de producción, pero sin que su principal responsabilidad sea enfocada en la operación de alguna estación de trabajo dentro de la línea de producción debido a que será encargada de la recolección de la información.

Se deberá especificar el puesto de trabajo de la persona dentro del organigrama del área a la cual corresponde para que sea transparente para todo el equipo de trabajo que labora dentro del área de producción, de tal manera que será posible la estandarización a través del tiempo si está definido claramente desde un inicio.

Al considerarse una nueva actividad para la persona que tomará esta responsabilidad se debe conocer si se excede o no con la carga de trabajo laboral actual, basado en la toma de tiempo de las actividades que actualmente desempeña se evalúa el tiempo disponible restante y se genera una rutina diaria para sistematizar la actividad, enlistando las tareas que debe de cumplir al día y definiendo su criticidad.

- **Gestión del conocimiento**

Para este paso se crea la documentación y formatos relacionados al proceso de recolección de la información de la línea de producción y el uso del programa estadístico como parte de la función que desempeñará la persona seleccionada. De igual manera se deberá establecer el proceso de entrenamiento para validar la efectividad y comprensión de la tarea y corroborar

que no existan pasos omitidos o realizados de manera errónea, esta validación deberá definirse por medio de alguna certificación para verificar la capacitación.

De igual manera se contempla la documentación de un plan de reacción para reducir los riesgos de los hallazgos encontrados en el momento en la línea de producción y que pudieran comprometer la calidad del proceso de manufactura, así como los estándares de calidad del producto definidos por el cliente. El plan de riesgos incluye las acciones de contramedida para reducir el riesgo de reclamos de calidad internos y externos a la línea de producción, incluye también las acciones de corrección.

- **Capacitación del personal**

Como se dijo en un punto anterior, es fundamental considerar la capacitación del asociado para la nueva actividad. En este caso se realiza con el apoyo de la documentación que se crea, se inicia con el instructivo de trabajo y ayuda visual. La metodología de enseñanza que se sigue es la denominada Entrenamiento dentro de la industria (Training Within Industry por sus siglas en inglés) el cual consiste en un total de 4 puntos:

- 1.- Preparar al asociado
- 2.- Presentar la actividad/operación
- 3.- Probar el desempeño del asociado en la actividad/operación
- 4.- Seguimiento

Este método es usado generalmente en el giro industrial para asegurar que el personal pueda desempeñar la actividad de manera eficiente. Adicional se creará un examen con una serie de preguntas teóricas que será parte de la evaluación. Después de la capacitación el asociado deberá aprobar para corroborar el nuevo conocimiento adquirido para obtener el grado de certificación en la actividad.

- **Plan de comunicación**

Una vez que se tiene el recurso humano asignado y la documentación establecida se procederá a realizar un despliegue del inicio del proyecto con el personal involucrado y las

distintas áreas de soporte que se verán involucradas de manera secundaria con el proyecto. Este despliegue puede ser a través de una reunión presencial o virtual con el equipo de trabajo donde deberá mostrarse con apoyo de una presentación visual el objetivo, participantes, estrategia de implementación, área donde se implementará y sus beneficios principales. Se da a conocer la fecha de inicio del proyecto y su seguimiento. También se resuelven dudas que pudiera generarse por la alta gerencia y se escuchan las retroalimentaciones que pudiera tener el equipo de trabajo para el logro exitoso del proyecto.

3.2.2 Etapa 2.- Selección de datos

Propósito. Definir los datos del proceso de manufactura originados de los procesos críticos que describan el comportamiento estadístico de la línea de producción.

En la *Figura 12* se muestran los pasos consideradores para la Etapa 2 denominada Selección de los datos, los cuales quedan definidos de la siguiente manera: selección de los procesos críticos, definición de las variables relevantes de proceso, configuración del programa y definición de la muestra:

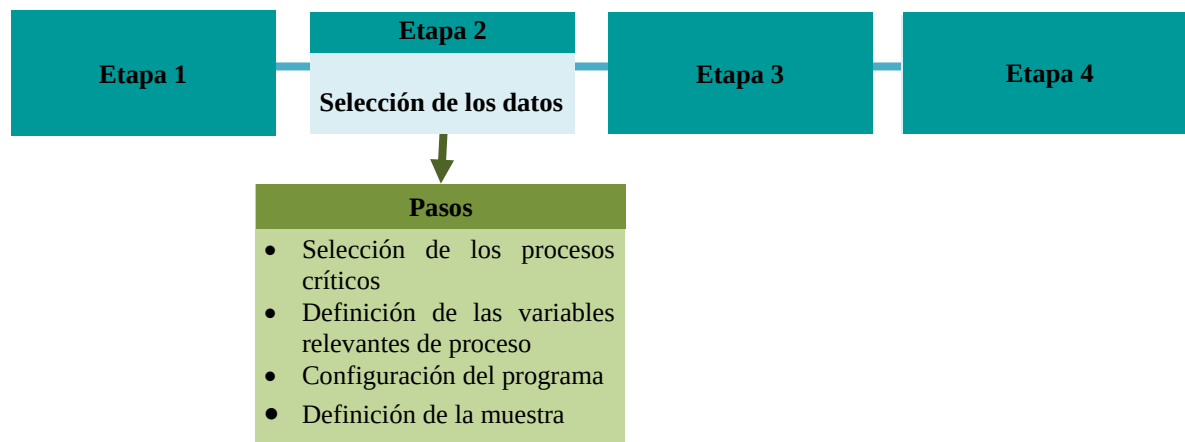


Figura 12. Etapa 2 de la metodología propuesta
Fuente: Elaboración propia

○ Selección de los procesos críticos

En esta etapa y después que se tiene la documentación básica que se crea en la etapa anterior, se procede a seleccionar las operaciones que son críticas del proceso de manufactura y que posteriormente se revisarán para seleccionar las variables relevantes del proceso y que se

ingresarán al programa estadístico para su procesamiento y posterior análisis e interpretación. En este primer paso se realiza una revisión de todas las operaciones de manufactura, se conoce que algunos procesos que son más delicados que otros o simplemente por el hecho de contener parámetros específicos y/o complejos para la función de transformar el producto de acuerdo con las especificaciones del cliente se consideran importantes, es un hecho que estos procesos críticos tienen más influencia en el producto y que su estabilidad definirá el desempeño de la línea de producción a manera general.

Para identificar estos procesos se conviene revisar la documentación general de la línea de producción como lo es el diagrama de flujo del proceso, porcentajes de defectos internos de la línea y los históricos de los reclamos de calidad por clientes externos a la Empresa Automotriz con el equipo multidisciplinario involucrado para convenir de manera conjunta los procesos críticos correspondientes.

- **Definición de las variables relevantes de proceso**

Una vez que las operaciones críticas del proceso de manufactura son determinados se procede a seleccionar los parámetros o variables relevantes de esas operaciones, en el sentido que son especiales o críticos para el producto en cuestión. Esta selección se realiza en base a la experiencia en el proceso mismo y conocimiento del producto en base a las competencias del equipo de trabajo. Evidentemente se deben tomar en consideración aquellas variables que sobresalen de otras para no incurrir en una carga de trabajo hacia la persona que estará registrando esta información en el programa estadístico.

- **Configuración del programa**

Ya que se tiene la selección de las variables relevantes del proceso en general, se procede a crear la configuración de la máscara de datos dentro del programa estadístico para dar forma a la plantilla o formato donde se capturarán los datos recolectados, es importante que esta máscara de datos sea fácil de entender por la persona que será responsable de interactuar con el programa, demás deberá de ser lo más interactivo posible de acuerdo con las configuraciones del programa estadístico. La cantidad de formatos que se crearán debe ser igual al número de variables relevantes del proceso, de tal manera que se manejarán de

manera individual. Por lo tanto, la máscara de datos deberá contener las propiedades de cada variable seleccionada para mayor comprensión.

- **Definición de la muestra**

Una vez elegidas las variables relevantes del proceso se determinarán los elementos de donde se extraerá la información del día a día, los cuales no se limitan a documentos en físico, sino que además podrá ser equipos y máquinas propios de manufactura. Se definirá también la frecuencia y cantidad de muestra específica para cada variable que se registrará en el programa estadístico. Este punto dependerá de las necesidades y capacidad del área, así como lo que se pudiera tener especificado en el Plan de Control de la línea de producción.

3.2.3 Etapa 3.- Procesamiento y visualización de los datos

Propósito. *Determinar el mejor modelo de visualización de la información una vez que se ha recolectado, registrado y procesado la información correspondiente.*

En la *Figura 13* se aprecian los pasos definidos para la Etapa 3 que lleva por nombre Procesamiento y visualización de los datos, se describen cada uno de los pasos a continuación:

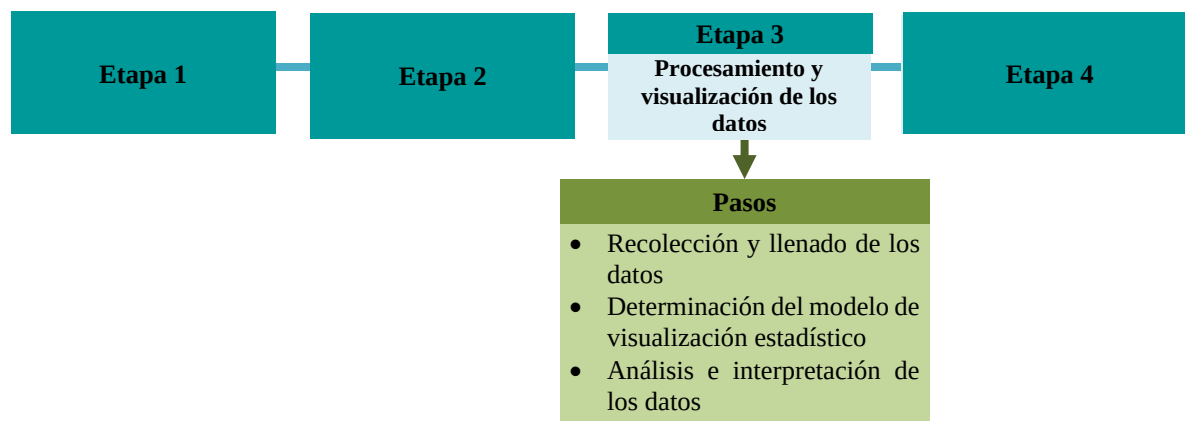


Figura 13. Etapa 3 de la metodología propuesta
Fuente: Elaboración propia

- **Recolección y llenado de los datos**

Cuando se ha definido el responsable, el método y los elementos de donde se tomará la información es importante dar seguimiento para asegurar la correcta realización de la tarea de recolección y registro de información al programa estadístico y debe tomarse en cuenta la confiabilidad de esa información, en este contexto ayudará el punto mencionado en el paso de la revisión de los equipos e instrumentos de medición.

En esta parte se ejecuta en sí el proceso de llenado de los datos de cada variable relevante en la máscara de datos dentro del programa estadístico bajo las condiciones que se prepararon para la implementación del proyecto en la Etapa 1 usando los instructivos de trabajo generados.

- **Determinación del modelo de visualización estadístico**

Una vez que se tienen las máscaras de datos con la información registrada requerida se procede a seleccionar el tipo de formato o diseño con el que se presentará la información estructurada hacia el equipo de trabajo. La información puede ser mostrada a través de distintos gráficos como histogramas, gráficos x y r, gráficos de dispersión, gráfica de cajas, etc., será la retroalimentación del equipo de trabajo quienes en conjunto se definirá el tipo de reporte o modo de visualización con los datos apropiados que proporcionarán más detalles del proceso de manufactura de acuerdo con las necesidades del área.

- **Análisis e interpretación de los datos**

Este paso es el más importante de la etapa 3 puesto que en esta sección es donde se revisa detalladamente la información ordenada de cada variable relevante seleccionada del proceso de manufactura para proseguir con una interpretación de cada una. Este análisis es posterior a la estructuración automática de los datos dentro del programa estadístico y se establece un diagnóstico de la situación actual de la variable en cuestión que, a su vez, determinará la condición real del proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas. En este punto también se incluye al equipo de trabajo y será de mutuo acuerdo el periodo de tiempo que conllevará el registro de los datos para realizar el análisis.

3.2.4 Etapa 4.- Valorización y extracción del conocimiento

Propósito. *Determinar los indicadores claves del proceso que serán impactados por las decisiones tomadas en los datos analizados previamente.*

En la *Figura 14* se observan los pasos definidos para la etapa 4 de la metodología propuesta denominada Valorización y extracción del conocimiento, se prosigue con el detalle de cada uno de manera siguiente:

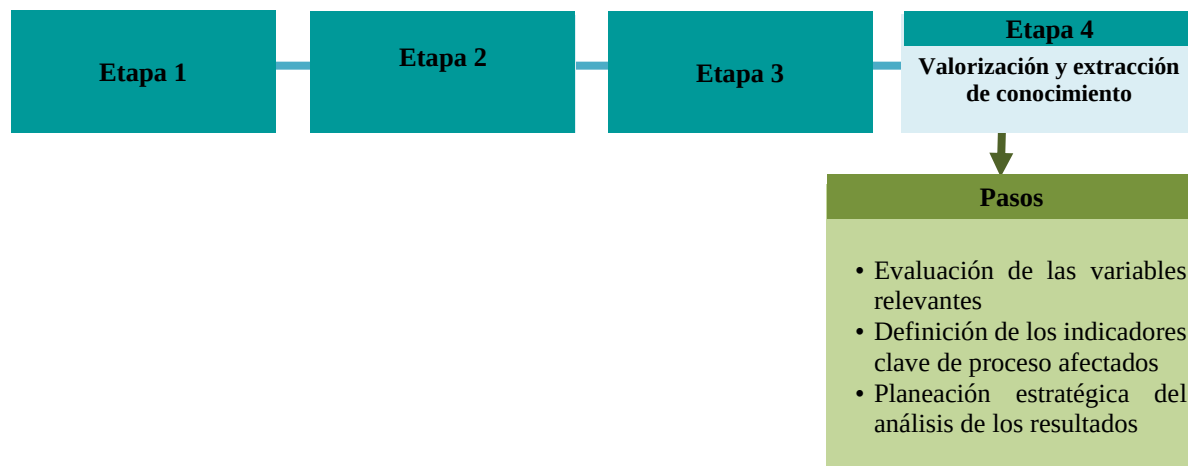


Figura 14. Etapa 4 de la metodología propuesta
Fuente: Elaboración propia

- **Evaluación de las variables relevantes**

Una vez que se realiza el análisis e interpretación de la información estructurada de las variables relevantes seleccionadas se procede a realizar una evaluación de cada una para conocer el estado actual de cada una dentro del proceso de manufactura en la línea de tal manera que se pueda distinguir la presencia de causas especiales en caso se presentarse variación, para proseguir con su orden de prioridad de cada variable para facilitar la toma de decisiones sobre la mejora de los procesos.

- **Definición de los indicadores claves de procesos afectados**

En este punto se determinarán los indicadores del proceso que serán impactados por el seguimiento a las variables relevantes del proceso y producto que se revisan previamente y que tendrán como objetivo la mejora de estos. Al encontrar una relación directa será más

fácil para la gerencia del área tomar decisiones basados en información real, estructurada y analizada.

- **Planeación estratégica del análisis de los resultados**

Derivado de los resultados que se obtengan a través del análisis de las variables relevantes del proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas, se procederá a establecer la planificación estratégica para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que tienen impacto de acuerdo con la situación actual para que en conjunto con los indicadores claves de proceso identificados sean de contribución para la definición de las acciones de mejora pertinentes por parte de la gerencia y equipos de trabajo responsables del área.

3.3. Selección de herramientas utilizadas y su justificación

En el punto anterior se describe cada uno de los pasos de la metodología propuesta para el desarrollo de este proyecto, pero cada uno conlleva el uso de herramientas para su ejecución y logro del propósito de estos.

En esta etapa, se contempla el uso de la herramienta de la Matriz de Ponderaciones como ayuda para la selección del programa estadístico, la matriz considera la lista de requerimientos funcionales, requerimientos tecnológicos y requerimientos de confiabilidad para elegir los factores de cada opción. Se hace uso también de la herramienta de la lista de verificación o chequeo para realizar la revisión de los equipos y equipos de medición usados en el área para validar que están calibrados. Como herramientas para la gestión del personal y gestión del conocimiento se hace uso de la administración del conocimiento como enfoque a la creación del entendimiento de la actividad en los individuos, aumentar su productividad y mantener la competitividad sustentable dentro de la organización

Esta documentación podrá generarse a través de diagramas de flujo, instrucciones de trabajo, ayudas visuales, descripción de rutinas, matriz de asignación de responsabilidades, matriz de plan de acción que puedan ser usado como apoyo para la realización de la actividad, esto con el objetivo de que los pasos sean claros y cuando haya eventos de personal de nuevo ingreso

en el área que tome esta responsabilidad sea capaz de realizar la función de la misma manera consultando la documentación existente. Para la capacitación del personal se hace uso de la herramienta Entrenamiento de la Industria (o TWI, por sus siglas en inglés de Training Within Industry) para entrenar al personal y que éste pueda realizar la actividad de manera eficiente y efectiva, además la herramienta ayuda a que el individuo conozca los beneficios y contribuciones que la actividad aporta a la organización. Las principales herramientas utilizadas en esta etapa se pueden observar en la *Figura 15*.

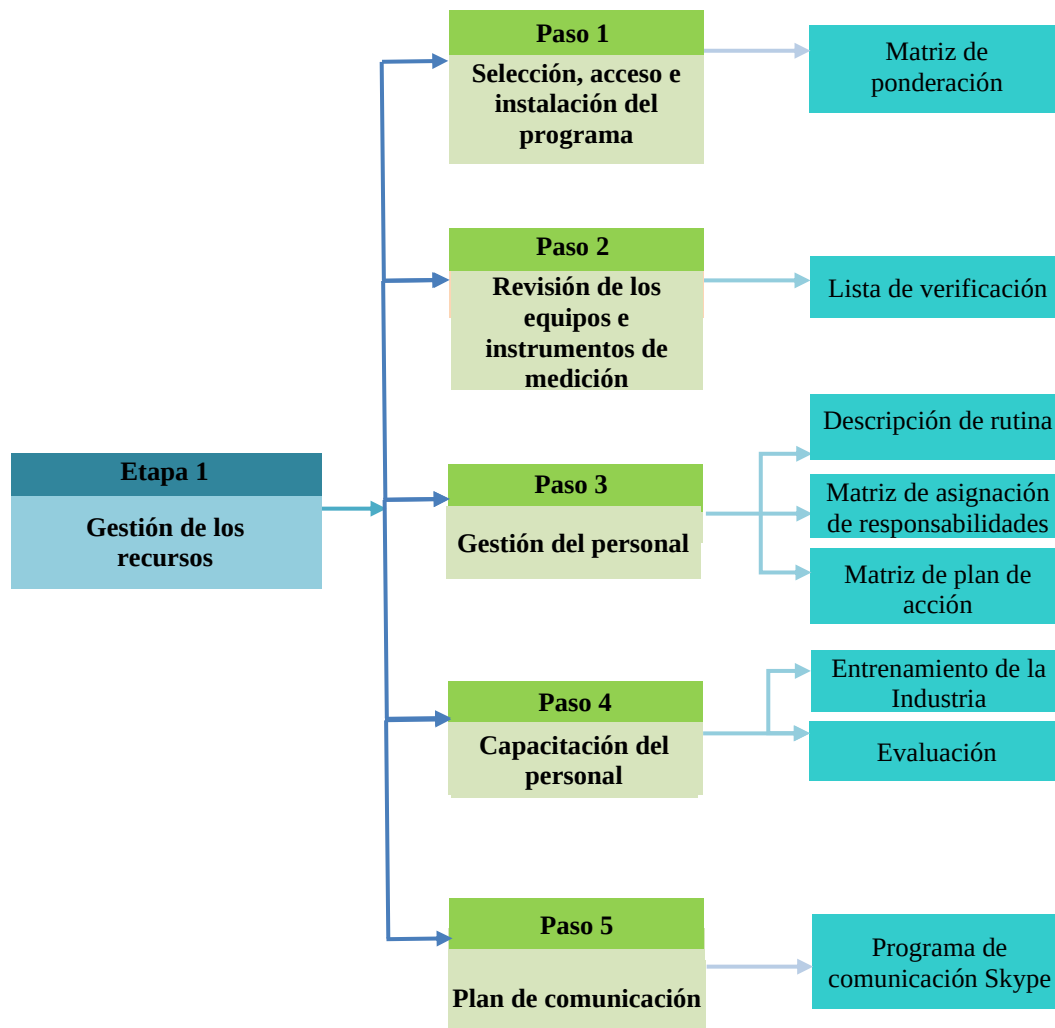


Figura 15. Herramientas en Etapa 1
Fuente: Elaboración propia

Para la etapa 2 se utilizan las herramientas que son estándar en muchas de las compañías hoy en día y que son parte del proceso y producto tal como el diagrama de operaciones de

manufactura, además del histórico de defectos internos generados dentro de la línea de producción expuesto en un Diagrama de Pareto, la Matriz de aseguramiento de calidad con el listado de los reclamos de calidad externos, que servirán para realizar un análisis en conjunto con el equipo multidisciplinario y de esta manera elegir las características que se destacan más que otras revisando si serán por variables atributos o continuas, estas características se mostrarán a través de un diagrama de árbol explicar de manera gráfica cada nivel. Adicional se utiliza la matriz de análisis de datos para ordenar las propiedades de cada variable entendiéndose como propiedades las tolerancias dimensionales, unidades de medida, ubicación dentro de la línea de producción para que sea fácil su traslado a la máscara de datos dentro del programa estadístico y posteriormente gestionar los datos reales del proceso de manufactura de manera transparente. También se hace uso de la Norma MIL STD 414 como método de selección de tamaño de muestra de los datos que serán tomados. Estas herramientas se pueden ver enlistadas en la *Figura 16*.

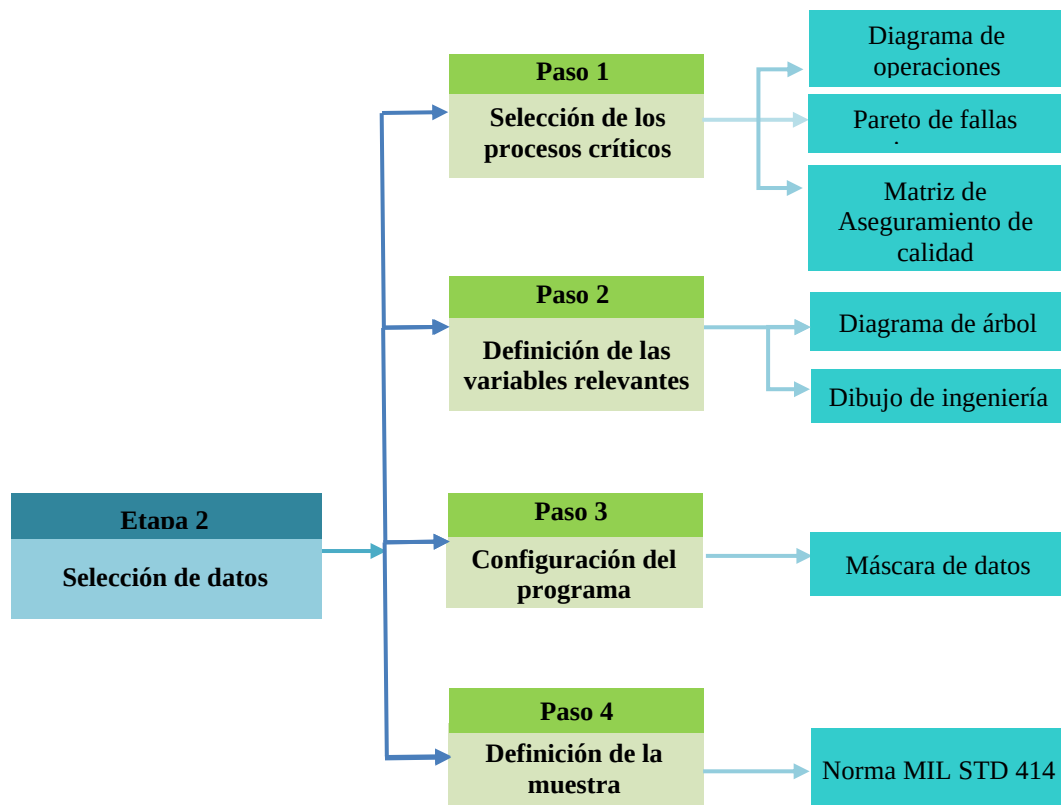


Figura 16. Herramientas en Etapa 2
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente etapa del desarrollo del proyecto se realiza una confirmación de proceso a través de una serie de preguntas a manera de auditoría para asegurar que el personal ejecuta la actividad acorde a los instructivos de trabajo, se hace también uso de las herramientas estadísticas del programa de cómputo como lo son: gráficas de promedios y rangos, histogramas, gráficas de dispersión, gráfica de cajas, gráficos circulares que serán los que se usen para mostrar los datos recolectados del proceso de manufactura hacia el equipo de trabajo y que ayudarán a representar un modelo descriptivo e identificar patrones que expliquen o resuman los datos. Para determinar qué herramientas estadísticas son las más adecuadas al mostrar la información estructurada se utiliza la herramienta de la matriz de decisión con la retroalimentación con el equipo de trabajo. Para el análisis de estos datos se manejan los conceptos de promedios de datos, variación entre subgrupos, límites de control de los datos, desviación estándar que ayudarán para realizar el diagnóstico del proceso de manufactura. El diagnóstico se realiza a través de estas herramientas estadísticas y por medio de los conceptos antes mencionados. La *Figura 17* representa las herramientas utilizadas en la etapa 3:

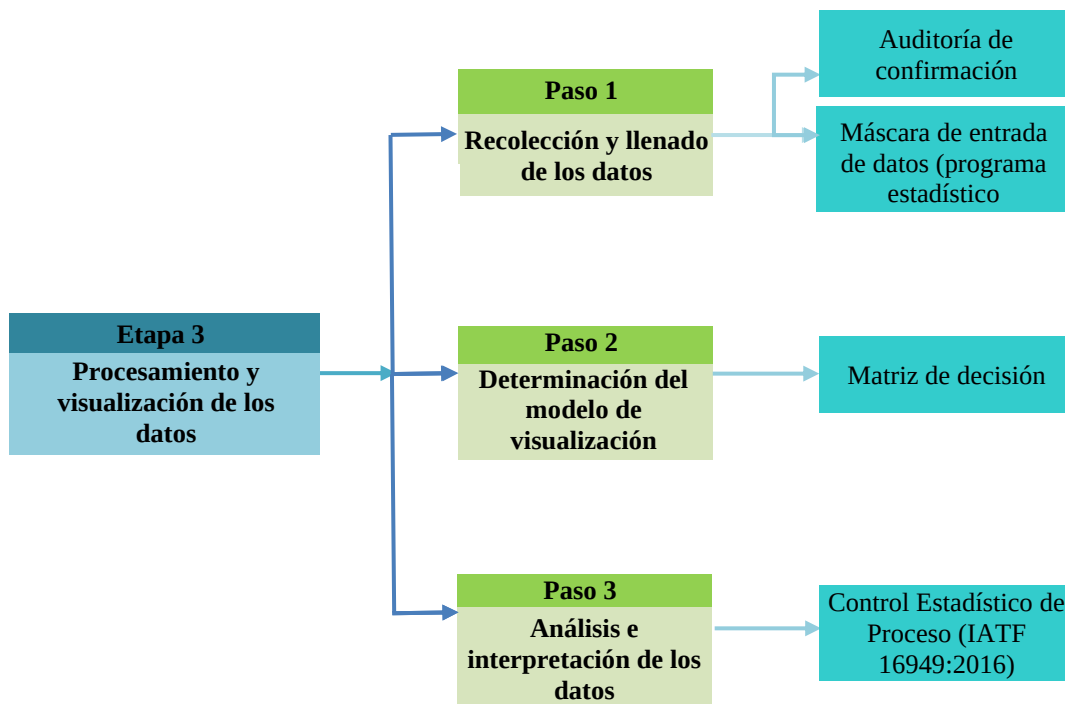


Figura 17. Herramientas en Etapa 3
Fuente: Elaboración Propia

En la última etapa se realiza una matriz de evaluación como herramienta para calificar el conjunto de variables que se eligieron dentro del proyecto y generar una orden de prioridades en base al resultado por medio de una matriz de priorización. Enseguida se usará el cuadro de mando integral como apoyo para relacionar los indicadores clave de proceso de la línea de producción donde se impactaría la mejora de las variables relevantes, en caso de que así se requiera. Una vez también que se tengan completos los resultados se procede a trabajar en un Análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) de la organización a manera de cuadrante -con objetivo de ser más visual- que ayude a determinar las líneas de acción y planes estratégicos que sean necesarias ejecutar para alcanzar los objetivos de la organización. Se continua con la propuesta del uso del ciclo de PDCA (por sus siglas en inglés “Plan, Do, Check, Act”) donde se conoce también como círculo de mejora continua, el cual consiste en seguir cuatro pasos cíclicos, donde el primero de ellos refiere al planificar, el segundo a hacer, el tercero paso es verificar y por último actuar, que de forma sistemática se logra una mejora al reevaluar periódicamente las áreas de oportunidad donde se esté aplicando. En la *Figura 18* refiere a las herramientas a usar en cada sección de la etapa número 4.

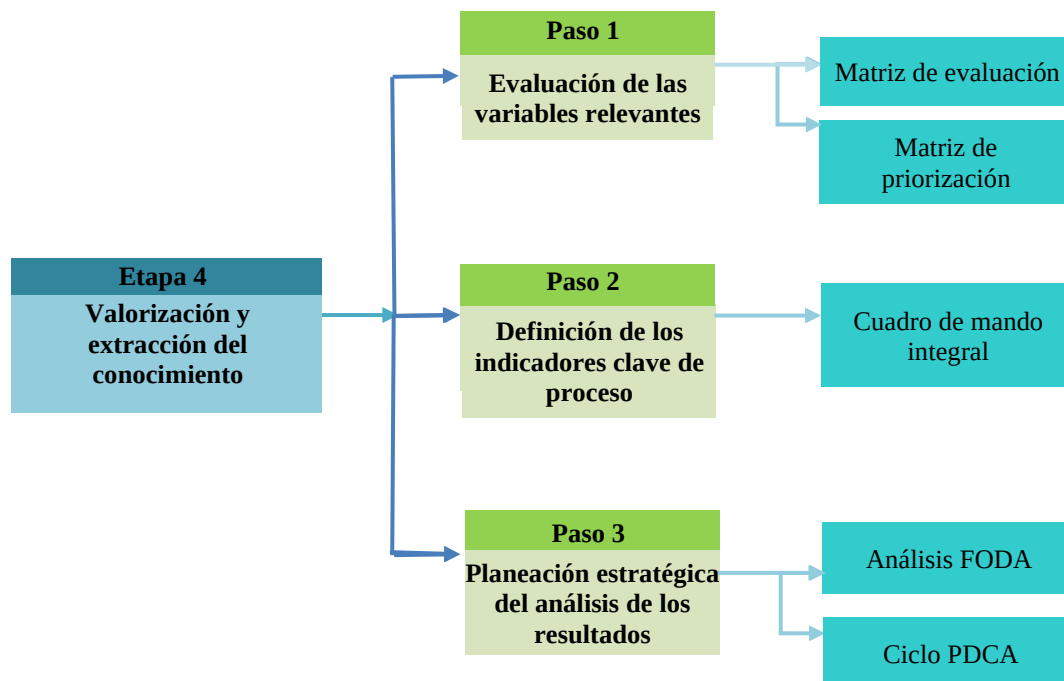


Figura 18. Herramientas en Etapa 4
Fuente: Elaboración propia

3.4. Indicadores para evaluar la metodología propuesta

Dentro de los indicadores que se manejan para la metodología propuesta anterior será -para la etapa uno- la realización de cada uno de los documentos que se definen como requisitos para la implementación del proyecto, así como su despliegue con el personal involucrado haciendo conocer su contenido y su respectivo propósito, de igual manera se considera como un punto importante la reunión para la presentación del proyecto con el equipo de trabajo de las diversas áreas que participarán de manera activa y de manera indirecta en el mismo.

Para la etapa dos se define como indicador para evaluar la metodología propuesta la implementación 100% efectiva de proyecto de manera sistemática, se considera un período de 3 meses como monitoreo inicial para asegurar que la actividad prevalezca en el tiempo una vez que se realice la revisión de los documentos propios del producto y proceso en conjunto con el equipo de trabajo.

Para la etapa tres se define como indicador de evaluación, la obtención de los modelos de visualización elegidos por el equipo de trabajo de cada variable relevante, así como la revisión de cada uno para su posterior análisis.

En la etapa 4 se determina obtener la evaluación completa de cada variable relevante usando las herramientas antes mencionadas y con el uso de la matriz de evaluación del conjunto de las variables relevantes y la obtención de la matriz de priorización, a su vez se considera completar el análisis FODA con al menos un elemento en cada uno de los cuadrantes como apoyo para la definición de un plan de estrategia dentro del área y el empleo del ciclo PDCA con actividades enfocadas en contribuir a la mejora de los hallazgos encontrados al finalizar el análisis de las variables relevantes del proceso de la línea de producción del sensor de desgaste de balatas.

Para realizar la implementación completa de la metodología propuesta se estima un periodo de tiempo de 10 meses como seguimiento al proyecto dentro de la Empresa Automotriz donde se seguirá cada uno de los pasos de las etapas anteriormente explicadas. El siguiente

capítulo se enfoca a explicar la aplicación de las herramientas antes señaladas y los resultados obtenidos de cada una.

Capítulo 4. Implementación de un sistema de minería de datos para la mejora del proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas

4.1 Etapa 1 Gestión de los recursos

A continuación, se describe la implementación de la etapa 1 considerando los pasos y herramientas mencionadas en el capítulo anterior

4.1.1 Desarrollo

- **Selección, acceso e instalación del software**

Como se vio en la metodología propuesta, la selección del programa dependerá de la licencia dentro de la organización. En este caso, la Empresa Automotriz cuenta con 3 herramientas; Microsoft Excel, Minitab y qs-STAT.

Para realizar la selección de la herramienta se crea una Matriz de Ponderaciones donde se define con el equipo de trabajo los factores a calificar para elegir la mejor herramienta. En la *Tabla 1* se muestran estos factores en la columna del lado izquierdo, como peso se establecieron tres valores donde 3 significa “No muy relevante”, 6 es “Medianamente relevante” y 9 se refiere a “Muy relevante”, a un costado se colocaron las 3 opciones de programas estadísticos con los que cuenta la organización, siendo Microsoft Excel, Minitab y qs-STAT y se realiza la evaluación de cada herramienta con respecto a cada factor, la ponderación de la evaluación se definió como valor máximo: 10 “Mejor alternativa” y se reduce conforme la opción se aleja del mejor valor. Para el total de puntos se realiza una suma de productos entre el peso y la evaluación de cada opción, para confirmar la selección se realiza una división del puntaje de cada opción entre el puntaje de la columna máxima y se cambia a porcentaje:

Tabla 1. Matriz de ponderación para la selección del programa

Matriz de ponderación				
Objetivo: Seleccionar la mejor opción de programa estadístico para el análisis de datos que se derivan del proceso de manufactura				
Factor		Opciones		
Descripción	Peso	<i>Minitab</i>	<i>es-STAT</i>	<i>Excel</i>
Bajo costo de inversión	9	8	10	10
Uso máximo de la tecnología existente	3	9	10	5
Velocidad del programa	6	9	8	10
Facilidad de implementación	6	7	7	9
Alta probabilidad de resultados rápidos	9	8	8	8
Facilidad de conexión a la intranet	9	9	9	8
Capacidad de volumen de información	9	9	10	9
Opciones de gráficos que ofrece la herramienta	9	8	9	7
Total de puntos		501	534	507
Porcentaje alcanzado		94%	100%	95%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el porcentaje alcanzado, la opción que se elige para este proyecto es el programa estadístico qs-STAT. Cabe señalar que este programa no está dentro del paquete de programas predeterminados que se tienen en todos los equipos de cómputo de la organización, por lo tanto, es necesario solicitar la instalación del programa en los equipos de cómputo que se definan dentro del área, para lo cual también es importante considerar la conexión a la intranet de la organización con el objetivo de visualizar la información que se esté guardando a través de cualquier equipo de cómputo. En la *Figura 19* se muestra la distribución del área de manufactura donde se puede observar las dos líneas de producción del sensor de desgaste de balatas, la flecha verde indica la localización del equipo de cómputo que se eligió y que se usará para el proyecto, el objetivo de mostrar la imagen es presentar su ubicación estratégica entre las dos líneas de producción con fácil acceso para el personal.

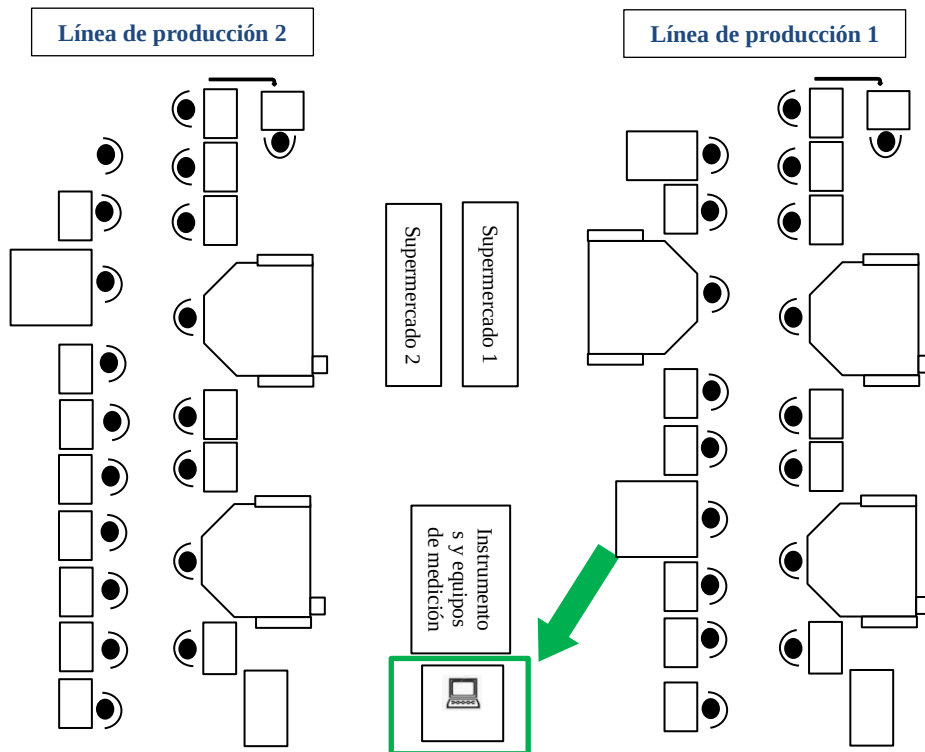


Figura 19. Equipo de cómputo con acceso al programa estadístico dentro del área
Fuente: Elaboración propia

- **Revisión de los equipos e instrumentos de medición utilizados**

Para continuar, y de acuerdo con el Análisis de Sistemas de Medición o MSA, por sus siglas en inglés (Measurements Systems Analysis) donde se dice que los datos de medición que se utilizan -casi en todos los procesos- a la medida que mejora la calidad de los datos que obtiene, es la mejora de la calidad de las decisiones, por lo que es importante evaluar la calidad de los sistemas de medición usados en el área (Automotive Industry Action Group, s.f.).

En la *Tabla 2* se puede observar el listado de los equipos e instrumentos de medición que son usados en el área para la liberación de las características del producto, en la última columna se especifica el cumplimiento de la calibración basado en las próximas fechas de revisión y con una previa auditoría física a los equipos por parte del ingeniero de calidad, con esto preciso asegurar que las mediciones a obtener durante el desarrollo del proyecto son verídicas y confiables.

Tabla 2. Verificación de calibración de los equipos de medición del área

Equipo ID	Descripción	Última fecha de calibración	Próxima fecha de calibración	Cumple
JMK40/1018-61B-005	Regleta Graduada 1018mm / 0.1 mm	09/10/2019	09/10/2020	☒
JML400 N1/150-61B-011	Calibrador Digital 0-150mm Manuf. /sn A18165986	05/03/2020	05/11/2020	☒
JMP1-61B-001	Equipo P/Pbas Fuerza Digital/LLOYD	13/12/2019	13/08/2020	☒
VED-03-18	Vernier Digital 0-200mm	28/01/2020	28/01/2021	☒
REG-01-17	Regleta Graduada Longitud 1000mm	06/01/2020	06/01/2021	☒
JML500 N1-61B-013	Micrómetro Digital Punta-Cuchilla 0mm-25mm / SN180802904	26/05/2020	26/11/2020	☒
JMK500 N1-61B-031	Indicador Digital 30 mm / sn 17011639	02/06/2020	02/02/2021	☒
JMK500 N1-61B-032	Indicador Digital 30 mm / sn 19201973 BPWS	02/06/2020	02/02/2021	☒
LX_F00C1D4031-G-61B-001	Dispositivo pasa/no pasa para altura de verificación de altura de pines Conector BPWS	11/11/2019	11/11/2020	☒

Fuente: Elaboración propia

Después de la verificación donde se valida que todos los equipos cumplen con la calibración correspondiente es conveniente decir que los equipos e instrumentos de medición que son usados en el área para la revisión del producto son aptos.

- **Gestión del personal**

A continuación, como recurso humano se elige al inspector de calidad como delegado de la actividad de la recolección y registro de la información en el programa estadístico, por lo que esta persona será quien alimente directamente la máscara de datos. Es preciso elegir al inspector de calidad debido a que desde esta función se tiene conocimientos técnicos del producto y proceso del sensor de desgaste de balatas y se encuentran en constante interacción diaria con la línea de producción.

En la *Figura 20* se muestra el organigrama del departamento de calidad con el objetivo de visualizar la estructura de donde pertenece el inspector de calidad y los niveles de

escalamiento que corresponden, así como señalar la función principal que se estará ejecutando por cada parte dentro del trabajo. Los principales puestos del organigrama que estarán participando de manera directa en el proyecto será el ingeniero de calidad e inspector de calidad con las responsabilidades de líder y usuario respectivamente.

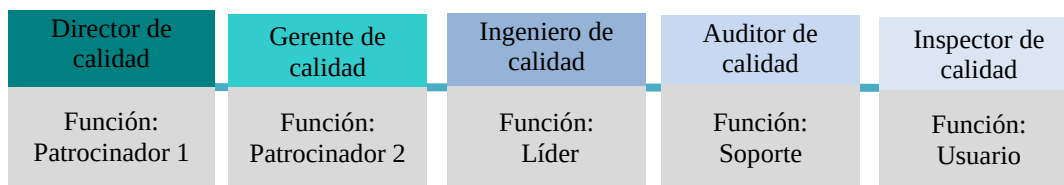


Figura 20. Organigrama del departamento de calidad
Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que la actividad de recolección y registro de la información será realizada de manera sistémica, por lo que implica una modificación en la rutina del inspector de calidad al agregar esta nueva tarea dentro de su día a día, por lo tanto, para evitar una resistencia al cambio se determina realizar una revisión a sus actividades específicas con el objetivo de realizar un estudio de tiempo para confirmar la posibilidad de llevar a cabo la nueva actividad sin algún inconveniente. La lista de actividades se puede observar en la *Tabla 3* donde ya se incluye el llenado de la máscara de datos (en letra color azul).

Tabla 3. Descripción de rutina de actividades del inspector de calidad

INSPECTOR DE CALIDAD BPWS RUTINA DE GESTIÓN DIARIA			
Sistema mediante el cual se establecen y mantienen los estándares, para el control, mejora y seguimiento de objetivos			
	Duración total	Descripción de la actividad	Comentarios
Diarias	10 minutos	Cambio de turno	Liberaciones en turno anterior, algún tema crítico, rechazos, actividad inconclusa, envío urgente. Realización de bitácoras de entrega de turno
	40 a 50 minutos	Liberación de dispositivos a prueba y error	Se revisan los dispositivos a prueba y error en L1 y L2 de BPWS de acuerdo con el PNPI-301.07 SlpP Anexo Liberación de dispositivos a prueba y error, se generan las muestras para probar en la estación correspondiente, así como identificación de estos. Se considera el registro de información en el formato electrónico
	30 a 35 minutos	Auditoría de producto a nivel arnés	Se realiza auditoría de producto a nivel arnés de L1 y L2 PNPI-301.10-SlpP Anexo Formato de auditoría final de producto. Se considera llenado de información en el formato electrónico, así como el transporte de piezas a laboratorio de RX

	30 a 35 minutos	Auditoría de producto a nivel sensor	Se realiza auditoría de producto a nivel sensor de L1 y L2 PNPI-301.10-SlpP Anexo Formato de auditoria final de producto. Se considera llenado de información en el formato electrónico, así como el transporte de piezas a laboratorio de RX
	60 minutos	Auditoría de embarque de producto terminado	Se realiza auditoría de producto terminado para enviar al almacén, confirmación contra sketch de dibujo de ingeniería e instructivo de empaque. (se revisan etiquetas laterales y etiqueta master) Se considera confirmación a 13 dígitos
	20 minutos	Soporte para mesas de GP12	Auditoría a proceso de inspección en mesas de GP12, reforzar entrenamiento al personal, aclaración de dudas, criterios de aceptación. Revisión de desperdicios y entrega de piezas malas al preparador
	15 minutos	Registro de GP12	Llenado de registro electrónico de rechazos de GP12
	50 minutos	Análisis de fallas internas	Revisión de piezas por rechazo en línea de producción Se considera llenado de información en registro de Fallas electrónico para enviar al auditor
	20 minutos	Bloqueo de material	Transferencia y movimiento de material al 460 (muro y cuarentena)
	30 minutos	Auditoría de Registro de liberación de primera pieza	Revisión de registro de liberación de primera pieza completo, revisión de micrografías y fuerza de desprendimiento
	40 minutos	Llenado de máscara de datos	Toma de y registro de información en el programa estadístico qs-STAT
Eventuales	10 minutos	Revisión con PQA	Revisión de materiales sospechosos con PQA
	20 minutos	Equipos de medición	Apoyo para fallas en equipos de medición como y fuerza de desprendimiento, realización de programas
	30 minutos	Reservaciones MRO	Reservación de material para MRO como consumibles
	15 minutos	Pruebas de adherencia	Pruebas de adherencia en caso de solicitud de pruebas
	20 minutos	Alertas de calidad	Despliegue de alertas de calidad
	15 minutos	Hojas especiales	Impresión de hojas especiales para pallets
	15 minutos	Cuarentena	Revisión de cuarentena
	90 minutos	Engargolados	Creación de engargolados de formatos de llenado de GP12, Auditoría de embarque, entrega de laterales

Fuente: Elaboración propia

Como complemento, se crea la matriz de asignación de responsabilidades para determinar las actividades pertinentes de cada departamento involucrado en caso de tener alguna no conformidad encontrada durante el proceso de recolección y registro de la información, a su vez, determinar el tipo de contención para el material sospechoso que pudiera haber.

La matriz se observa en la *Tabla 4* y para dar un ejemplo si se revisa el punto número uno, el cual refiere a la actividad de medición se puede observar la descripción definida para efectuar este proceso, a su vez, se define que el preparador de línea es el responsable de ejecutar, el supervisor es quien aprueba, el soporte de la actividad es el ingeniero de manufactura, como informativo se especifica al inspector de calidad y se consulta con el ingeniero de manufactura. Para un segundo ejemplo y a manera de comprender el funcionamiento de la matriz de responsabilidades, en el número 2, donde la actividad se refiere a la toma de datos, la designación de la tarea se vuelve para el inspector de calidad, en este caso el aprobador no es considerado, el soporte se traslada hacia el ingeniero de calidad y no aplica el rubro informativo ni consultado por la naturaleza de la labor.

Tabla 4. Matriz de asignación de responsabilidades

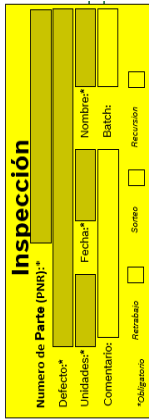
Nro.	Actividad	Descripción	R= Responsable A= Aprobador S= Soporte I= Informativo C= Consultado con				
			R	A	S	I	C
1	Medición	Se mide la característica de acuerdo con la liberación de primera pieza	Preparador de producción	Supervisor de producción	Ing. de manufactura	Inspector de calidad	Ing. de manufactura
2	Tomar de datos	Se toman datos medidos previamente y se registran en qs-STAT	Inspector de calidad		Ing. de calidad		
3	Escalamiento	Se escala cuando se encuentran puntos con desviación (fuera de límites de especificación)	Inspector de calidad		Ing. de calidad	Supervisor de producción	
4	Contención	Se realiza contención con el producto sospechoso, se resguarda y se verifica	Inspector de calidad		Ing. de manufactura	Supervisor de producción	Ing. de calidad
5	Documentar falla	Se documentan la falla, la contención	Inspector de calidad		Ing. de calidad		
6	Plan de acción	Se corrige el error, se estabiliza proceso	Técnico de mantenimiento	Ing. de calidad	Ing. de manufactura	Ing. de calidad	

7	Lección aprendida	Se documenta lección aprendida	Ing. de calidad		Ing. de manufactura		
R: Responsable		La persona quien tiene a cargo la tarea					
A: Aprobador		Quien firma o aprueba el trabajo/tarea					
S: Soporte		Quien proporciona recursos o apoya la tarea					
I: Informado		Quien es notificado de los resultados, pero no necesita ser consultado					
C: Consultado		Tiene la información y/o la capacidad necesaria para terminar el trabajo					

Fuente: Elaboración propia

De igual manera si se detecta alguna anomalía donde se encuentre un valor de cualquier característica relevante que se llegue a definir dentro de este proyecto fuera de los límites de su especificación superior e inferior, el inspector de calidad tendrá que seguir una matriz de plan de reacción donde se incluye los pasos a seguir después de ese hallazgo o anomalía. El extracto de la matriz de plan de reacción se puede observar en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Extracto de la matriz de plan de reacción

Anexo Paros de línea, planes de reacción/ acciones correctivas						
Locación/ Proceso	Descripción del Defecto	Modos de Detección	Cantidad de Material Para Detener	Contención para realizar	Etiqueta de identificación	Acciones inmediatas (Verificación: Preparador de línea)
Llenado de máscara de datos	Característica fuera de valor de especificación	Programa estadístico	Todo el lote	De acuerdo con característica/ variable afectada		1) Confirmar medición tomada y registrada. R: Inspector de calidad 2) Notificar a ingeniero de calidad y supervisor de producción R: Inspector de calidad 3) Seguir Matriz de asignación de responsabilidades R: Inspector de calidad, S: Ingeniero de calidad

Fuente: Elaboración propia

- **Gestión del conocimiento**

Como parte de la gestión del conocimiento se considera como primer paso, la creación del diagrama de flujo para establecer los pasos que se tomarán dentro del procedimiento de toma de datos de las muestras y registro de estas en las máscaras de datos dentro del programa estadístico qs-STAT, con el fin de ser claro y no generar confusión al inspector de calidad al momento de realizar la actividad. En la *Figura 21* se observa la representación gráfica del proceso a través de un diagrama de flujo.

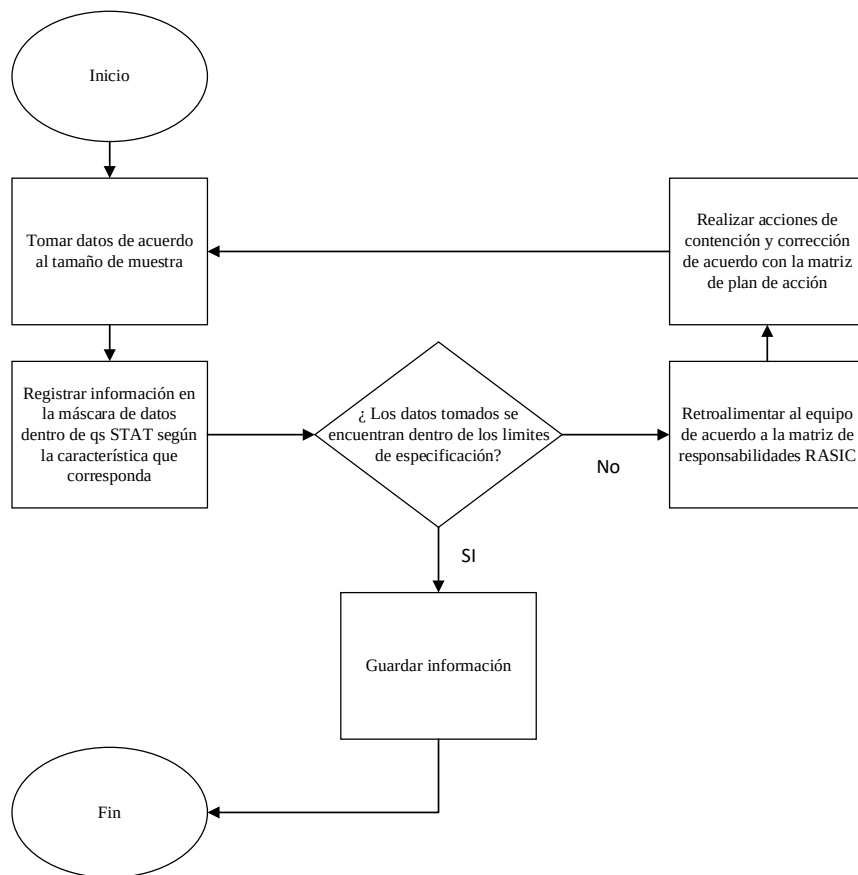


Figura 21. Diagrama de flujo de toma y registro de información

Fuente: Elaboración propia

Como segundo paso se considera la creación y realización de dos tipos de instructivos de trabajo, un instructivo de operación específicamente para la creación de las máscaras de datos donde se registrará la información dentro del programa estadístico qs-STAT, para que

cualquier individuo de la organización con acceso al programa pueda generarla sin mayor complicación, éste instructivo será del uso del ingeniero de calidad u otra función similar. Para el registro de la información recolectada en la máscara de datos se contempla la realización de un segundo instructivo de operación, éste se usará para fines de capacitación y entrenamiento hacia el usuario que interactuará con el programa estadístico de manera frecuente, en este caso el inspector de calidad. En la *Figura 22* se observa la diferenciación entre ambos instructivos creados.

Instructivo para creación de máscaras de datos en el programa estadístico	Instructivo de operación (uso del programa estadístico)
Responsable: Ingeniero de calidad Usuario: Ingenieros	Responsable: Ingeniero de calidad Usuario: Inspector de calidad

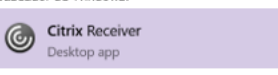
Figura 22. Instructivos de operación
Fuente: Elaboración propia

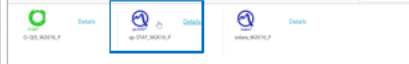
A continuación, en la *Figura 23* se muestra un extracto de la instrucción generada para la creación de los formatos dentro del programa estadístico qs-STAT. El documento se encuentra estructurado por una serie de pasos con imágenes de tal manera que sea claro para el usuario el proceso a seguir para dicha actividad. El documento completo se puede encontrar en el Anexo 1.

Production and Quality Instruction

Secuencia de trabajo estandarizado



Pasos	Claves Mano Izquierda	Claves Mano Derecha	Razones
(1) Entrar al módulo	1. Entrar a la interfaz de CITRIX RECEIVER desde el buscador de Windows.  2. Una vez dentro de la interface, seleccionar el módulo de qs-STAT		1. Para poder ingresar al programa 2. Para poder crear la plantilla 3. Seleccionar la opción correcta

Datos generales			
Área	Línea	No. de parte / Modelo	
Aplica para todas las áreas	Aplica para todas las líneas	Aplica para todos los NP's	
No. Operación	Descripción de la operación		
NA	Creación de plantillas de cartas de control en qs-STAT		
Coordinador/Supervisor de producción (Aprobación)	Ingeniero de calidad (Responsable)	Fecha	Página
Cynthia Pérez	María Sánchez	29.07.2020	1 de 3

Figura 23. Extracto de instrucción de operación para la creación de las máscaras de datos donde se registrará la información recolectada

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el segundo instructivo para el llenado de la información por parte del usuario final se puede visualizar en la *Figura 24* de igual manera como extracto, el instructivo completo puede revisarse en el Anexo 2.

Production and Quality Instruction

Secuencia de trabajo estandarizado

Pasos	Claves Mano Izquierda	Claves Mano Derecha	Razones
(1) Tomar datos	1. Tomar documento del "Registro de liberación de primera pieza" del modelo correspondiente y tomar los datos de acuerdo a las características que se tienen definidas en el formato "PNMD-508-SlpP Special Characteristics, Anexo Parámetros Relevantes de Proceso" 		1. Para obtención de datos
(2) Entrar al módulo	2. Entrar a la interfaz de CITRIX RECEIVER desde el buscador de Windows. 		2. Para poder ingresar al programa 3. Para acceder a la plantilla

Datos generales

Área	Línea	No. de parte / Modelo	
Aplica para todas las áreas	Aplica para todas las líneas	Aplica para todos los NP's	
No. Operación	Descripción de la operación		
NA	Llenado de información en máscara de datos		
Coordinador/Supervisor de producción (Aprobación)	Ingeniero de calidad (Responsable)	Fecha	Página
Cynthia Pérez	María Sánchez	29.07.2020	1 de 3

Figura 24. Extracto de instrucción de operación para el llenado de la información en las máscaras de datos dentro del programa

Fuente: Elaboración propia

Como parte de los documentos que serán usados para la capacitación hacia el inspector de calidad se realiza una ayuda visual del proceso del uso de la máscara de datos dentro del programa estadístico para mayor claridad de la estructura de esta y se hace la explicación de cada sección de la ventana principal que se despliega al momento de registrar la información. La ayuda visual se puede observar en la *Figura 25*.

PNPI-301.07 SlpP Anexo Ayuda Visual al Proceso							Página 1/2	
NOMBRE DE LA PARTE:	NOMBRE DE LA OPERACIÓN:	No. DE OPERACIÓN:	No. DE MAQUINA:	No.:	RESP. DE PROCESO:	FECHA DE REVISIÓN:	No. Rev	Validación QMM
BPWS	SPC. Gráfica de control	NA	NA	NA	Maria Sánchez	10.08.2020	1	Cynthia Pérez

Nombre de la característica

Límite superior e inferior de la característica

Campo para colocar valor de la característica

Valores previamente registrados

Part no.	Char. Descr.	Altura de crimpado ir	Type of chart (location)	X-Chart	Type of chart (variatic)	s-Chart
825581XXXX	Altura de crimpado ir	0,88	UCL	---	---	---
	Characteristic Numb	0,82	LCL	---	---	---
	USL	---	LALI	---	---	---
	LSL	---	---	---	---	---
	Unit	mm	---	---	---	---

Char. Descr.	Altura de crimpado inner blanco de p
Input: measured value	
3.35	0,88
4.45	0,85
5.55	0,86
$\bar{X}_j$	0,864
s_j	0,015

No drawing specified

EQUIPO DE SEGURIDAD REQUERIDO PARA ESTA OPERACIÓN:			
LENTES DE SEG.	FAJA	PETO	
TAPONES AUDITIVOS	GUANTES	CARETA	
MASCARILLA	ZAPATOS DE SEG.	OTROS:	

Figura 25. Ayuda visual
Fuente: Elaboración propia

- **Capacitación al personal**

Como se observó en la metodología propuesta, la nueva actividad por parte del inspector de calidad se registra en el esquema de certificaciones por parte del departamento de recursos humanos de la Empresa Automotriz, la cual es una plataforma digital denominada “Entrénate”. En la *Figura 26* se puede observar un extracto de esta plataforma digital de la Empresa Automotriz donde se aprecia la documentación de la nueva operación en el recuadro color azul, a su izquierda se puede ver el personal que estará tomando el entrenamiento con los documentos de apoyo creado en el paso anterior.

Procedimiento P0007Q Anexo 10 Matriz de certificación

☐ En entrenamiento
 ☒ Certificación
 ☐ Inicial
 ☐ Intermedio
 ☒ Avanzado

Número	Asociado	Impresión de letreros	Librería de material	Llenado de gráficas de control	Medición de altura de pines	Prueba de desprendimiento
62149615	ROCHA RIOS ALEX STEVEN	☐ 30/06/2021				
91586396	HERNANDEZ SOLIS ROCIO ELENA	☒ 28/04/2025	☒ 28/04/2025		☐ 21/06/2021	
91657753	MENDEZ SANCHEZ SANDY	☒ 06/05/2025	☒ 06/05/2025		☐ 13/07/2021	
91978579	MORALES GARCIA FLOR DEL ROCIO	☐ 20/04/2025	☐ 13/05/2025			

Figura 26. Extracto de la plataforma digital Entrénate con la nueva actividad del uso del programa estadístico
Fuente: Elaboración propia

La capacitación del personal se realiza a través de la instrucción de operación y ayuda visual que anteriormente se expusieron, especificando cada paso de la actividad y donde se explica la clave de cada uno y la razón de éste para el logro de la actividad. La capacitación se realiza de manera presencial y haciendo ejercicios en el programa estadístico, de primera mano por el ingeniero de calidad y después por el inspector de calidad. Los ejercicios se llevan a cabo en el equipo de cómputo que se encuentra a un costado de la línea de producción donde también previamente se ha mostrado en la distribución del área.

Básicamente, se lleva a cabo la capacitación en 3 pasos:

- 1.- Se revisa el documento del instructivo de operación.
- 2.- Se realizan ejemplos prácticos por parte del ingeniero de calidad.
- 3.- Se realizan ejemplos prácticos por parte del inspector de calidad con el apoyo del ingeniero de calidad.

Posteriormente se aplica un examen para evaluar el conocimiento adquirido por parte del inspector de calidad. En la *Figura 27* se muestra un extracto de esta evaluación con opción múltiple que es realizada por el ingeniero de calidad, pero ejecutada por el personal de entrenamiento técnico del departamento de recursos humanos que, valida la veracidad de las respuestas, una vez que el inspector de calidad aprueba se determina que es apto para el desarrollo de la actividad de manera eficiente y acorde a los requerimientos.

P0007Q Anexo 15 Evaluación de Certificación	
Con el fin de evaluar que los conocimientos de los temas impartidos, hayan sido transmitidos y asimilados de forma correcta, requerimos que llene esta evaluación.	
No. Nómina	Fecha
Nombre	Operación
	Area
Llenado de información en la máscara de datos	
Instrucción: Subraye la respuesta correcta.	
1.- ¿Para qué se realiza el llenado de información en las máscaras de datos? a) Para llenar el check sheet. b) Para asegurar que producción realice la liberación de la estación c) Para monitorear la estabilidad del proceso y detectar alguna desviación a tiempo d) Porque lo pide Calidad 2.- ¿En que módulo se realiza el llenado de la información en la gráfica de control? a) En Daily Monitor b) En SAP c) EN O-QIS d) En registro excel de fallas 3.- ¿Qué es el SPC o Control Estadístico de Proceso? a) Son gráficas de control que permiten usar criterios objetivos para distinguir variaciones en un proceso de manufactura b) Es el uso del check sheet para liberación c) Son gráficas de pareto que permite ver el top 3 de la línea d) Se refiere a la liberación de pokayokes 4.- ¿Qué se debe de hacer en caso de que se haya detectado algún valor fuera de especificación? a) Dejar a producción correr en esa condición b) Alertar a supervisor de producción e ingeniero de calidad c) Anotar la medición en la gráfica de control d) Liberar el material 5.- ¿Qué significa que los valores se acerquen a los límites de especificación mayor o menor? (en las gráficas) a) Significa que posiblemente los datos posteriores que se tomen saldrán de especificación b) Significa que el comportamiento de la línea es bueno c) Significa que los valores tomados están mal d) Significan que la línea trabaja bien 5.- ¿Qué significa que los valores se oscilen a la especificación nominal? (en las gráficas) a) Significa que el proceso de manufactura tiene un comportamiento estable b) Significa que hay que tomar datos nuevamente c) Significa que hay que avisar al preparador d) Significan que la especificación nominal está mal	
Firma de Asociado:	

Figura 27. Extracto de la evaluación para determinar el grado de conocimiento de la nueva operación por parte del inspector de calidad.

Fuente: Elaboración propia

• Plan de comunicación

Como impacto de la contingencia debido a la pandemia COVID 19 durante el año 2020, se decide realizar el plan de comunicación con el equipo de trabajo involucrado en el proyecto por medio de una reunión vía aplicación Skype ya que no se permite tener mayor afluencia de 3 personas físicas por oficina dentro de la Empresa Automotriz. El proyecto se expone en 3 partes: objetivo y recursos necesarios para el proyecto, implementación y explicación del funcionamiento y por último un espacio para preguntar y respuestas. Los participantes en esta reunión son los de cada departamento de soporte y relacionado al departamento de producción visto en la parte de *Antecedentes* de este proyecto: Calidad, Manufactura, Informática, Ingeniería, Especialización Técnica, Mantenimiento y Logística.

4.1.2. Análisis de resultados

Al final de la etapa 1, se establecieron y gestionaron todos los recursos necesarios para poder poner en práctica las etapas siguientes, no se encontró algún bloqueo o limitante para completar los pasos de la etapa. La capacitación del personal se dio de manera fluida y se aclararon las dudas que se tuvieron durante el entrenamiento de la actividad, se presenta entusiasmo por parte del inspector de calidad y para el uso del programa estadístico

Como parte del despliegue del proyecto con el equipo de trabajo del área, donde hubo asistencia de la gerencia se acordó llevar el trabajo hasta la última etapa de implementación.

4.2 Etapa 2 Selección de datos

Una vez realizada la etapa 1, la cual es considerada fundamental para la obtención de los datos que serán analizados se procede a seleccionar la información relevante del proceso de manufactura.

4.2.1 Desarrollo

- **Selección de los procesos críticos dentro de la línea de manufactura**

Para iniciar con la selección de los datos a analizar se determinan una primera selección de los procesos críticos dentro de la línea de producción donde se hace uso del diagrama de flujo del proceso de manufactura del sensor de desgaste. En la *Figura 28* se puede observar gráficamente estas operaciones subsiguientes que conllevan a la fabricación de este producto en cuestión, el círculo refiere a una operación donde existe una transformación de la materia prima o se transforma un subensamble, el círculo acompañado de un cuadrado refiere a donde existe una transformación, pero acompañada de una inspección al producto.

Diagrama de flujo de proceso		
Cliente: GM		Revisor por: Manufactura, calidad
Descripción: Sensor de balata		
Símbolo	Estación /Proceso	Descripción
	100	Desenrollado de cable
	120	Crimpado de terminal de conector
	130	Moldeo de conector
	140	Ensamble de doble de goma
	150	Ensamble doble de clip
	160	Inspección de pines y marcado láser
	170	Ensamble doble de cintillo
	180	Ensamble de cintillo
	190	Corte e inserción de manga
	210	Soldadura de resistencias y crimpado de terminal de sensor
	230	Moldeo de base
	240	Corte de marco
	250	Soldado de puente
	260	Moldeo de cabeza de sensor
	270	Moldeo de goma
	280	Inserción de clip y prueba funcional
	290	Inspección final
	300	Empaque

Figura 28. Diagrama de operaciones.
Fuente: Elaboración propia

Una vez revisado el diagrama de operaciones se analiza el histórico de los últimos 6 meses de los problemas internos de calidad de la línea de producción número uno del 2020, donde se representa por medio del CDI (costos de defectos internos) los principales problemas y la estación donde se origina. Estos defectos de calidad internos son los que son detectados y

reportados dentro de la línea por el personal de producción. En la *Tabla 6* se puede observar el porcentaje de CDI por mes por defecto y la estación donde sucede la falla de calidad interna. En la *Figura 29* se puede observar el Pareto de los defectos de manera acumulada en ese tiempo, en el mes de abril la línea de producción no trabaja debido al paro técnico derivado de la contingencia por la pandemia de COVID 19 del año 2020.

Tabla 6. Porcentajes de CDI de los primeros 6 meses del año 2020 en Línea de producción

Defectos Principales	Estación/ Proceso	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total	Pareto
Piezas incompletas en sensor	260	658	1,244	667	No trabaja	20	399	364	3353	19.48%
Daño en manga	190	488	1,254	597	No trabaja	20	448	433	3239	18.82%
Mal soldado de puente	250	159	558	254	No trabaja	3	266	171	1411	8.20%
Mal crimpado de terminal	210	196	525	206	No trabaja	5	170	251	1352	7.86%
Piezas largas/cortas	100	213	326	225	No trabaja	10	97	137	1008	5.86%
Soldadura con chisporroteo	250	63	251	131	No trabaja	4	60	114	623	3.62%
Pin bajo en conector	130	221	194	123	No trabaja	11	129	194	872	5.07%
Mal soldado en resistencia	210	641	551	157	No trabaja	19	303	364	2035	11.83%
Manga corta	190	109	259	261	No trabaja	1	122	239	991	5.76%
Resistencia fuera de valor	250	96	247	80	No trabaja	3	45	68	538	3.13%
Cable expuesto en conector	130	76	225	150	No trabaja	2	108	57	617	3.59%
Resistencia fuera de valor estado 2	280	44	115	45	No trabaja	2	17	34	256	1.49%
Rebaba metálica en cabeza de sensor	260	153	446	210	No trabaja	1	59	46	914	5.31%

Fuente: Elaboración propia

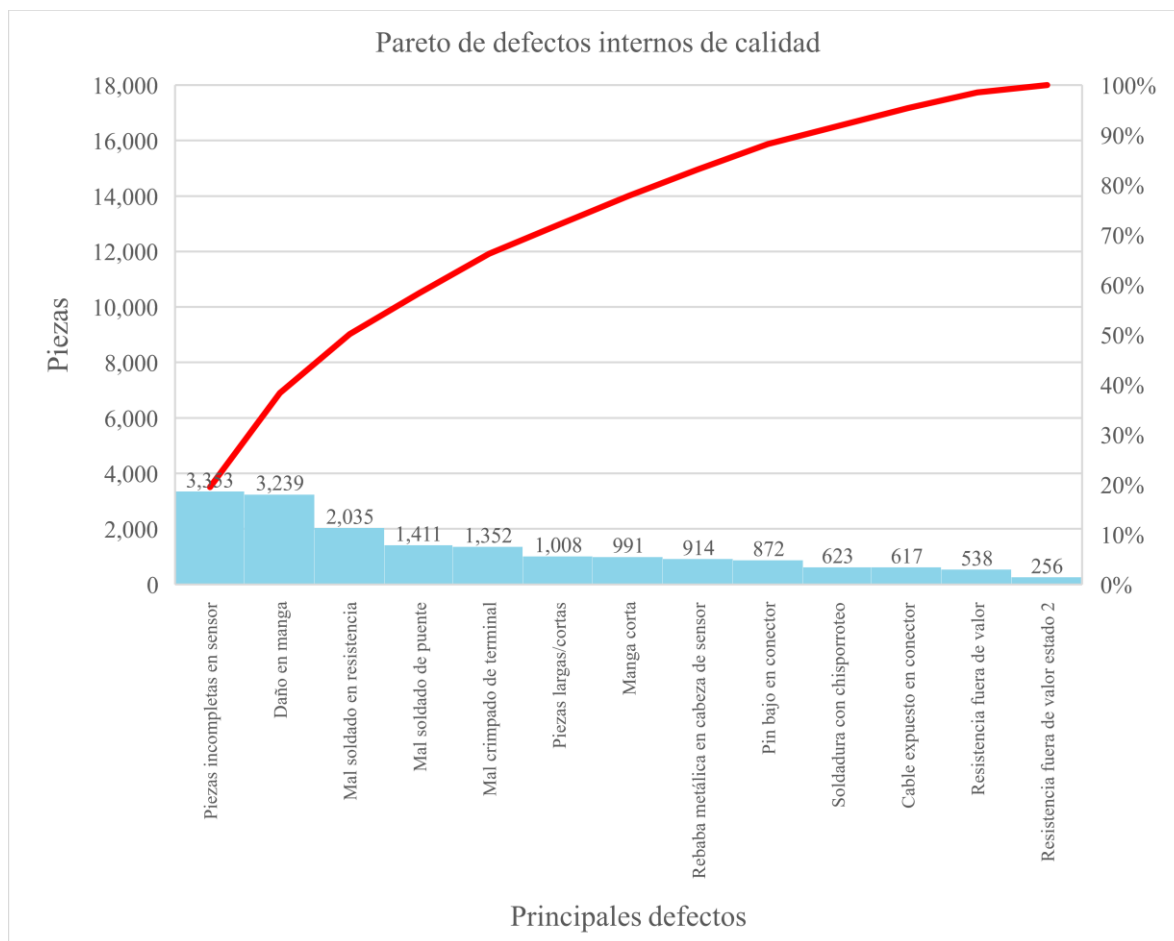


Figura 29. Pareto acumulado de CDI de línea de producción
Fuente: Elaboración propia

Adicional, se toma en consideración el histórico de defectos de calidad externos de la línea de producción en los últimos 12 meses. Estos problemas de calidad externos refieren a aquellas fallas en el producto donde el cliente detecta y reporta la condición no aceptable en el producto a la Empresa Automotriz considerándose un evento crítico para la organización.

En la *Figura 30* se observa el listado de cada evento, la descripción y la estación de la línea de producción donde se origina reflejado en una matriz denominada: Matriz de aseguramiento de la calidad.

Descripción del problema	Línea	Fecha del reclamo por cliente	Matriz de aseguramiento de la calidad																	
			Estación origen del problema																	
			Desenrollado de cable	Crimpado de terminal de conector	Moldeo de conector	Ensamble de doble de goma	Ensamble doble de clip	Inspección de pines y marcado láser	Ensamble doble de cintillo	Ensamble de cintillo	Corte e inserción de manga	Soldadura de resistencias /crimpado de terminal de sensor	Moldeo de base	Corte de marco	Soldado de puente	Moldeo de cabeza de sensor	Moldeo de goma	Inserción de clip/prueba funcional	Inspección final	Empaque
			100	120	130	140	150	160	170	180	190	210	230	240	250	260	270	280	290	300
Pin fuera de especificación	1	06/09/2019			x															
Resistencia equivocada	1	10/09/2019								x										
Mal crimpado de terminal	1	10/09/2019								x										
Doble clip en sensor	1	17/10/2019															x			
Mal crimpado de terminal en conector	1	29/10/2019		x																
Falta del clip	1	18/11/2019															x			
Terminal expuesta en sensor	1	23/12/2019												x						
Puente sin soldar	1	03/03/2019											x							
Pin desalineado	1	26/02/2020			x															
Mal crimpado en terminal de conector	1	04/03/2019		x																
Mal crimpado en terminal de conector	1	04/06/2020		x																
Mal crimpado de terminal	1	09/06/2020								x										
Mal crimpado de terminal	1	30/06/2020								x										
Total			0	3	2	1	2	0	0	0	0	4	0	0	1	1	0	2	0	

Figura 30. Extracto matriz de aseguramiento de la calidad

Fuente: Elaboración propia

Como resultado se tiene: 8 estaciones de la línea de producción donde ha ocurrido algún evento de defecto de calidad externo: estación de soldadura de resistencias/crimpado de terminal con un total de 4 eventos, estación de crimpado de terminal de conector con 3

eventos, estación de moldeo de conector, ensamble de doble clip, inserción de clip/prueba funcional con 2 eventos y ensamble doble de goma, soldadura de puente, moldeo de cabeza de sensor, con 1 evento.

Tanto la tabla de porcentaje de los defectos de calidad internos y diagrama de Pareto de defectos acumulados y la matriz de aseguramiento de calidad ayuda a realizar el cotejo de los principales problemas de la línea de producción tanto internos como externos de la línea de producción, en la *Tabla 7* se observa esta relación, donde se colocó del lado derecho la suma de las reincidencias de eventos en cada estación.

Tabla 7. Relación de defectos internos y externos de la línea de producción

Estación /Proceso	Descripción	Defecto de calidad interno (CDI)	Defecto de calidad externo	Total
100	Desenrollado de cable	1	0	1
120	Crimpado de terminal de conector	1	3	4
130	Moldeo de conector	2	2	4
140	Ensamble de doble de goma		1	1
150	Ensamble doble de clip		2	2
160	Inspección de pines y marcado láser	1	0	1
170	Ensamble doble de cintillo		0	0
180	Ensamble de cintillo		0	0
190	Corte e inserción de manga	2	0	2
210	Soldadura de resistencias/crimpado de terminal de sensor	3	4	7
230	Moldeo de base		0	0
240	Corte de marco		0	0
250	Soldado de puente	3	1	4
260	Moldeo de cabeza de sensor	2	1	3
270	Moldeo de goma		0	0
280	Inserción de clip/prueba funcional	1	2	3
290	Inspección final		0	0
300	Empaque		0	0

Fuente: Elaboración propia

En conjunto acuerdo con el equipo de trabajo se determinó seleccionar únicamente las operaciones con una reincidencia total mayor a 3 eventos, los cuales están indicados en color rojo; estación 120-Crimpado de terminal de conector, estación 130-Moldeo de conector, estación 210-Soldadura de resistencias/crimpado de terminal de sensor y estación 250-Soldado de puente. Se toma la excepción de considerar la estación 280-Inserción de

clip/prueba funcional dentro del proyecto debido a que es la prueba de funcionalidad al final de la línea. (indicado en color naranja)

- **Definición de las variables relevantes de proceso críticos**

Una vez que se ha determinado las operaciones críticas del proceso se procede a definir las variables relevantes que serán las que se analizarán en el programa estadístico qs- STAT. Se establecen dos tipos de variables; de entrada y salida. Las variables de entrada serían consideradas como parámetros propios del proceso que se consideren importantes y las variables de salida que conciernen al producto, a su vez, estas variables de salida se ramificarían en dos, que son las características internas dadas por la Empresa Automotriz y las características externas que están comprometidas con el cliente externo siendo auditables.

En la *Figura 31* se muestra esta categorización a través de un diagrama de árbol para diferenciar los distintos niveles de características o variables relevantes provenientes del proceso de manufactura y del producto. Esta categorización se determinó de igual manera mediante una revisión con el equipo de trabajo considerando la confidencialidad de la información, estrategia con cliente y a interés de los departamentos de soporte involucrados.

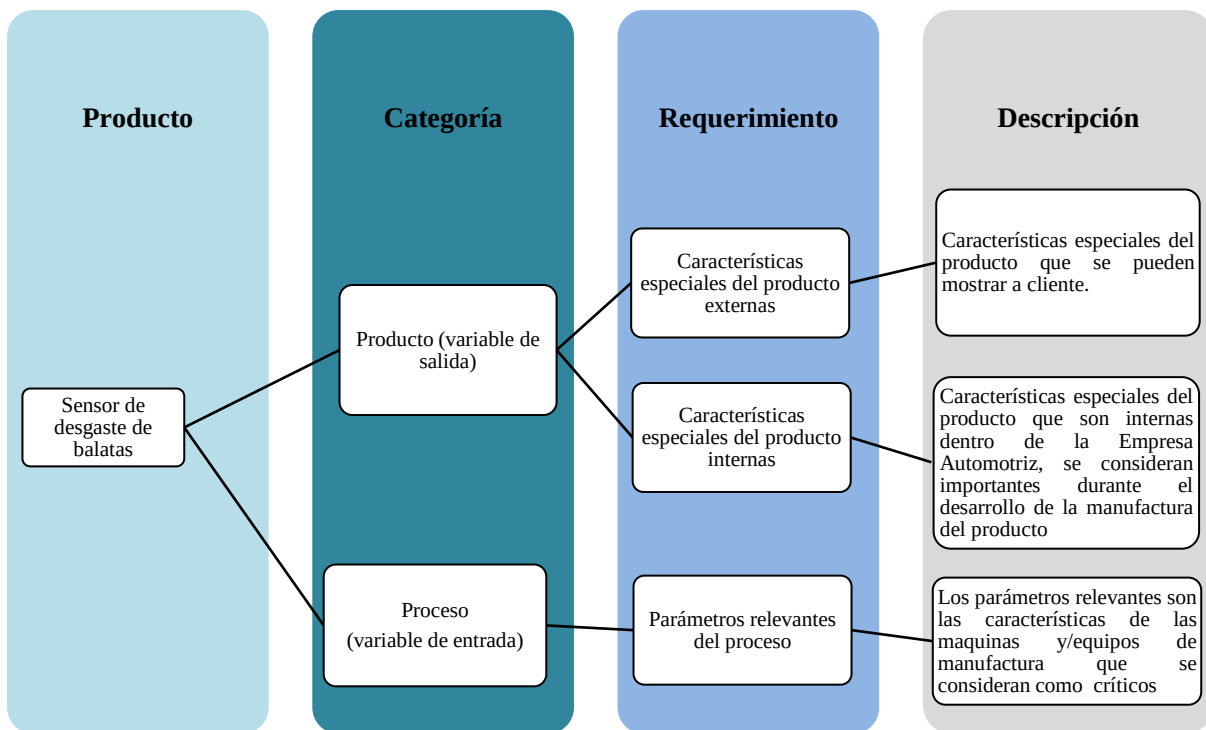


Figura 31. Diagrama de categorías de las variables relevantes

Fuente: Elaboración propia

En base a la experiencia del equipo de trabajo en el proceso de manufactura y el producto se definen las variables relevantes de acuerdo con la categoría descrita en el diagrama anterior.

En la *Figura 32* se puede observar las variables de entrada y de salida definidas, siendo un total de 12 características correspondientes a los procesos críticos de la línea de manufactura.

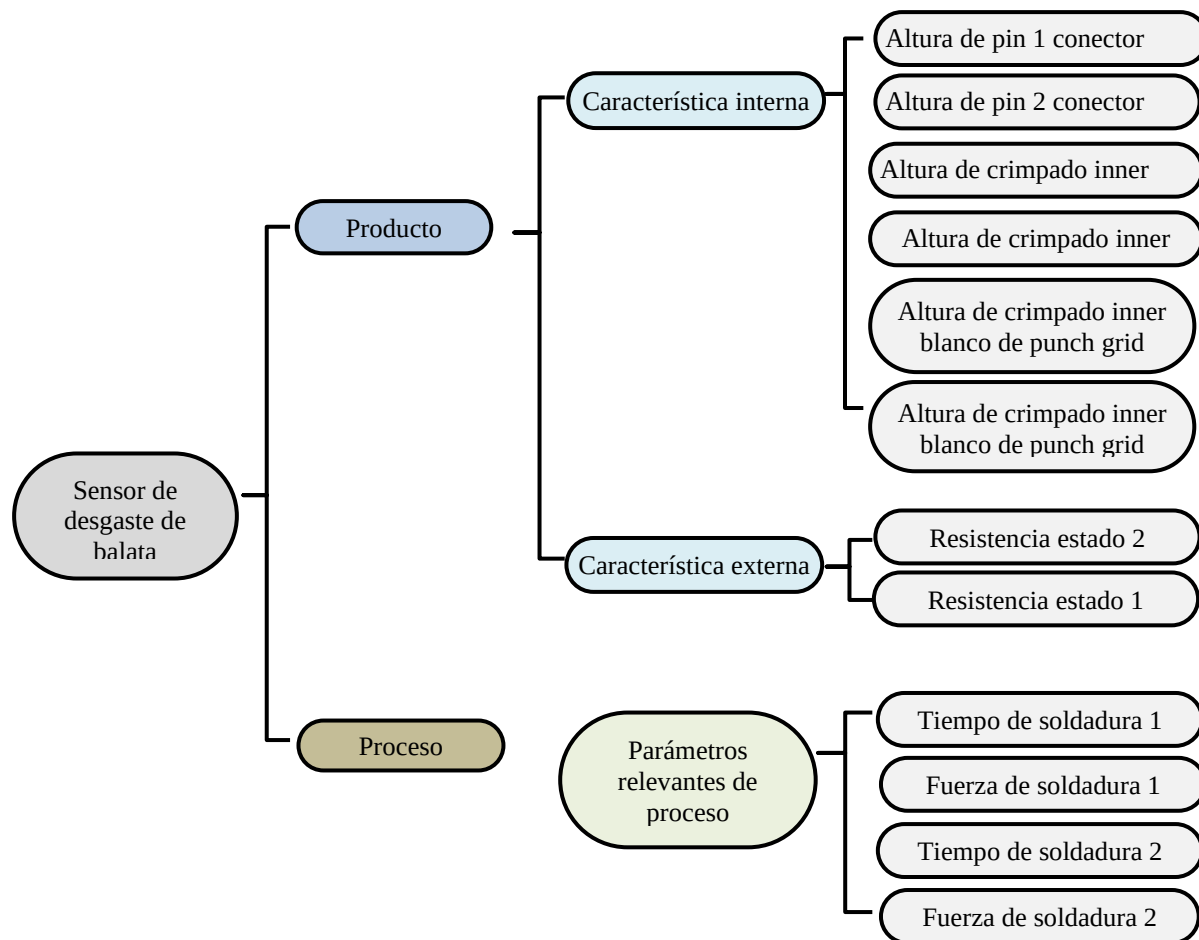


Figura 32. Características de proceso y producto definidas para el análisis
Fuente: Elaboración propia

Como parte de la revisión de las características que corresponden al producto se revisan los dibujos de ingeniería para examinar sus tolerancias dimensionales y las unidades de medida de cada una. En la *Figura 33* se puede observar el ejemplo de uno de los dibujos revisados de una de las características definidas como la altura de pin de conector, esta característica en específico se eligió debido a que corresponde a una parte de ensamble con el cliente, si no cumple su medida pueda ser motivo de que el sensor de desgaste de balatas no sea funcional en la aplicación.

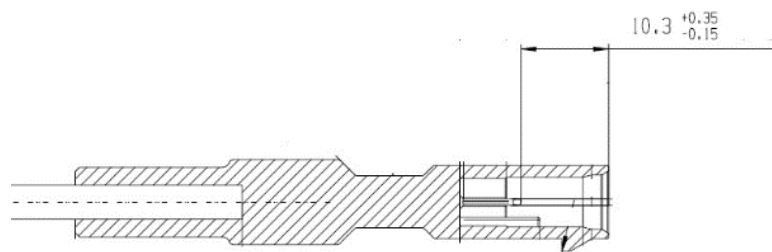


Figura 33. Extracto de dibujo de ingeniería del producto

Fuente: Elaboración propia

De igual manera se revisan las listas de parámetros de las variables de entrada del proceso para sustraer las tolerancias y las unidades de medidas de cada uno. En la *Tabla 8* se observan el cotejo de las variables relevantes seleccionadas anteriormente con la relación de la estación a la que pertenecen, el nombre o descripción de la variable, la unidad de medida, la especificación nominal, el límite de especificación inferior y superior de cada una

Tabla 8. Propiedades de las variables relevantes seleccionadas

N o.	Estación	Nombre de la estación	Tipo de variable	Descripción de la variable	Nominal	Unidad	Límite de especificación inferior	Límite de especificación superior
1	120	Crimpado de terminal de conector	Salida	Altura de crimpado inner verde	1.05	mm	1.01	1.09
2			Salida	Altura de crimpado inner blanco				
3	130	Moldeo de conector	Salida	Altura de pin 1. Conector BPWS	10.4	mm	10.15	10.65
4			Salida	Altura de pin 2. Conector BPWS				
5	210	Soldadura de resistencia s y crimpado de terminal de sensor	Entrada	Tiempo de soldadura de resistencia 1	8.50	ms	6	10.8
6			Entrada	Fuerza de soldadura de resistencias	1.10	W	0.70	1.50
7			Salida	Altura de crimpado inner verde de punch grid	0.85	mm	0.82	0.88

8			Salida	Altura de crimpado inner blanco de punch grid	0.85	mm	0.82	0.88
9	250	Soldadura de puente	Entrada	Tiempo de soldadura de puente 2	10.40	ms	10.0	10.80
10			Entrada	Fuerza de soldadura de puente 2	1.1	W	0.7	1.5
11			Salida	Resistencia estado 2	1.3	Ω	1.235	1.365
12	280	Prueba funcional	Salida	Resistencia estado 1	2.5	Ω	0	5

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la *Tabla 8* todas las características seleccionadas son del tipo variable continua y no por atributos, por lo tanto, serán cuantificables.

- **Configuración del programa estadístico**

Se estableció que, el programa estadístico seleccionado será qs-STAT, por lo que la tabla anterior servirá como apoyo para crear las máscaras de entrada de datos en este para introducir las propiedades de cada característica. En la *Figura 34* se puede observar el ejemplo de la creación de una máscara de datos.

Figura 34. Extracto de la máscara de datos dentro del programa estadístico

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, en este punto se definió el formato de Registro de liberación de primera pieza de la línea de producción que actualmente es usado cada inicio de turno para confirmar que tanto el proceso y producto cumpla con los requerimientos estipulados internamente y con cliente. En la *Figura 35* se puede observar un extracto de este documento que actualmente se llena en físico. Parte de esta información que se registra en el documento es extraída directamente de las pantallas de los equipos de manufactura usados en el proceso de fabricación del sensor de desgaste de balatas y los que corresponden al producto son medidos por los instrumentos de medición del área antes enlistados, por lo tanto, los datos que serán empleados para este proyecto con los que se encontrarán en la sección que está señalada en el recuadro azul.

[illegible]

90

- **Determinación de muestra**

Tamaño de muestra.

Para la determinación del tamaño de muestras se decide usar la norma MIL STD 414, la cual fue inicialmente desarrollado como un conjunto de tablas de inspección para el ejército de Estados Unidos durante la 2ª Guerra Mundial que permitió realizar planes de inspección en variables del interés gubernamental como surtimiento, almacenaje, operación de inspección de mantenimiento, etc. Este plan de muestreo aplica a una característica de calidad que puede ser medible en la escala continua y por lo cual el resultado se expresa en términos de porcentaje de defectuosos.

Como se recordará, para este proyecto se han definido que las variables que se estarán usando como características tanto de entrada como salida son de tipo continuas. La ventaja de que hayan sido variables continuas es que, usando esta norma, el tamaño de muestra es menor que por características de atributos, considerado también que el muestreo por variables provee de información adicional acerca del proceso debido a la medida numérica de la característica. La desventaja de este método es que por cada característica se debe de generar un plan de muestreo.

Para iniciar, se asume que la distribución de los datos es una distribución normal, pero esta resolución pudiera cambiar a través de la investigación.

Este método comprende de un índice denominado Nivel de Calidad Aceptable o por sus siglas en español NCA, lo cual refiere al % de aceptación que se define por cliente o de manera interna de material no conforme, regularmente se tiene en un intervalo de 0.04% a 15%, donde el 15% representaría alrededor de una sexta parte de un lote completo como no conforme a especificaciones (Gutiérrez Pulido Humberto, 2009).

Como parte del diseño del plan de muestreo de acuerdo con el estándar MIL STD 414 se incluyen los siguientes puntos:

1. Conocer o definir el tamaño del lote.

2. Escoger un nivel de inspección, el cual entre mayor el nivel de inspección, más estricto será el plan de muestreo.
3. De acuerdo con la tabla que se encuentra en el Anexo 3, se busca el tamaño de lote previamente obtenido en el punto número 1 y se busca el nivel de inspección para tomar de la intersección de estos, la letra código para el tamaño de muestra.
4. Especificar el NCA de la característica.
5. De acuerdo con la tabla que se encuentra en Anexo 3, se toma el tamaño de lote del punto uno y el nivel de inspección para tomar de las intersecciones una letra para el tamaño de muestra que se puede observar en el Anexo 4.

Paso 1.

Para la definición del tamaño de lotes, se realizó la *Tabla 9* donde se muestra los números de parte de sensor de desgaste de balata que se fabrican actualmente en el área. De acuerdo al tiempo ciclo que tiene cada uno, se determina un número objetivo de piezas por hora para producción, teniendo un total de total de 24 horas al día que se trabaja en línea de producción número uno, se considera la reducción de 1.5 horas de comida (0.5 horas por turno) y la reducción de 0.5 horas por tiempo de mantenimiento autónomo en la línea (0.16 horas al turno), ya que estas dos actividades son planeadas se resta del tiempo total; siendo un resultado de 22 horas disponibles por día, se convierten las horas a segundos, se determina un total de 79,200 segundos al día, los cuales se dividen entre el tiempo ciclo de cada número de parte para dar un resultado que se expresa en la columna “Lote total por día” para cada modelo. Para fin de explicar el siguiente paso se tomará como ejemplo el primer número de parte 265011075.

Tabla 9. Definición de tamaño de lote

Número de parte	Tiempo ciclo (seg.)	Objetivo de piezas por hora	Lote total por día
265011075	11.6	310	6,820
265011079	15.38	234	5,148
265011080	13.9	258	5,676
265011340	10.65	388	8,536
265011341	10.65	338	7,436
265011344	11.6	310	6,820
265011346	14.73	244	5,368
265011347	14.73	244	5,368

265011348	22.33	161	3,542
265011679	22.33	161	3,542
265011677	22.33	161	3,542
265011678	22.33	161	3,542

Fuente: Elaboración propia

Paso 2.

Bajo la Norma MID STD 414 se tiene un estándar de cinco niveles de inspección siendo el nivel IV el que se considera usual. Para el nivel de inspección en este proyecto, se toma la recomendación del autor del nivel IV siendo posible el cambio de nivel a través del curso de la investigación.

Paso 3.

Para la identificación del código de letra del tamaño de muestra se toma el valor del tamaño del lote previamente identificado como 6,820 piezas para el modelo 265011075 y el nivel de inspección seleccionado de IV. Se busca el intervalo de tamaño de lote dentro de la *Tabla 10* donde cumpla las 6,820 piezas, en este caso el intervalo que se ajusta es el que se muestra desde 3,201 a 3,200 piezas, después se identifica el nivel IV dentro de la misma tabla para buscar la intersección de ambos valores, dando como resultado la letra código de M. La Letra código M será de ayuda para la determinación del tamaño de muestra para el lote previamente definido.

Tabla 10. Letras de códigos para el tamaño de muestra para MIL STD 414 (muestreo por variables)

Niveles de inspección					
Tamaño de lote	I	II	III	IV	V
3 a 8	B	B	B	B	C
9 a 15	B	B	B	B	D
16 a 25	B	B	B	C	E
26 a 40	B	B	B	D	F
41 a 65	B	B	C	E	G
66 a 110	B	B	D	F	H
111 a 180	B	C	E	G	I
181 a 300	B	D	F	H	J
301 a 500	C	E	G	I	K
501 a 800	D	F	H	J	L
801 a 1300	E	G	I	K	L
1301 a 3200	F	H	J	L	M
3201 a 8000	G	II	L	M	N

8001 a 22000	H	J	M	N	O
22001 a 110000	I	K	N	O	P
110001 a 550000	I	K	O	P	Q
550001 y más	I	K	P	Q	Q

Fuente: Elaboración propia basada en (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009)

Paso 4.

De acuerdo con el resultado de la tabla anterior, se obtiene una letra código de muestra “M”, el cual en la *Tabla 11* se especifica un tamaño de muestra de 50 piezas por día. Por la naturaleza del proceso y de acuerdo con los turnos en los que se trabaja en la línea de producción se determina un total de 16 piezas como muestra por turno denominado “n”. Para el NCA se define el mismo objetivo de CDI del área del 1.5% donde en la misma tabla y conociendo la letra código de muestra se obtiene un valor de 3.5, este valor se usará más adelante para determinar si el lote total del día es aceptado o no aceptado.

Tabla 11. Tabla inspección normal y severa, método M

Letra código del tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra	Nivel de calidad aceptable: NCA o AQL (inspección normal)													
		0.04	0.065	0.1	0.15	0.25	0.4	0.65	1	1.5	2.5	4	6.5	10	15
		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
B	3										7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
C	4									3.5	10.92	16.45	22.86	29.45	36.9
D	5							1.33	3.32	5.83	9.8	14.39	20.19	26.56	33.99
E	7					0.422	1.06	2.14	3.55	5.35	8.4	12.2	17.35	23.29	30.5
F	10				0.349	0.716	1.3	2.17	3.26	4.77	7.29	10.54	15.17	20.74	27.57
G	15	0.099	0.099	0.312	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94	25.61
H	20	0.135	0.135	0.365	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03	24.53
I	25	0.155	0.155	0.38	0.551	0.877	1.29	2	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51	23.97
J	30	0.179	0.179	0.413	0.581	0.879	1.29	1.98	2.83	3.91	5.86	8.47	12.36	17.24	23.58
K	35	0.17	0.17	0.388	0.535	0.847	1.23	1.87	2.68	3.7	5.57	8.1	11.87	16.65	22.91
L	40	0.179	0.179	0.401	0.566	0.873	1.26	1.88	2.71	3.72	5.58	8.09	11.85	16.61	22.86
M	50	0.163	0.163	0.363	0.503	0.789	1.17	1.71	2.49	3.45	5.2	7.61	11.23	15.87	22
N	75	0.147	0.147	0.33	0.467	0.72	1.07	1.6	2.29	3.2	4.87	7.15	10.63	15.13	21.11
O	100	0.145	0.145	0.317	0.447	0.689	1.02	1.53	2.2	3.07	4.69	6.91	10.32	14.75	20.66
P	150	0.134	0.134	0.293	0.413	0.638	0.949	1.43	2.05	2.89	4.43	6.57	9.88	14.2	20.02
Q	200	0.135	0.135	0.294	0.414	0.637	0.945	1.42	2.04	2.87	4.4	6.53	9.81	14.12	19.92
		0.065	0.1	0.15	0.25	0.4	0.65	1	1.5	2.5	4	6.5	10	15	

Fuente: Elaboración propia basada en (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009)

Se realiza el mismo ejercicio para los demás modelos para obtener el tamaño de muestra “n” de cada uno y se determina también el valor de M que será usado más adelante para

determinar si los lotes son aceptados o no de acuerdo con los valores de las muestras obtenidas. Los datos se pueden observar en la *Tabla 12*.

Tabla 12. Determinación de tamaño de muestra “n” para cada modelo.

Número de parte	Tiempo ciclo (seg.)	Objetivo de piezas por hora	Lote total por día	n	M
265011075	11.6	310	6,820	50	3.45
265011079	15.38	234	5,148	50	3.45
265011080	13.9	258	5,676	50	3.45
265011340	10.65	388	8,536	50	3.45
265011341	10.65	338	7,436	50	3.45
265011344	11.6	310	6,820	50	3.45
265011346	14.73	244	5,368	50	3.45
265011347	14.73	244	5,368	50	3.45
265011348	22.33	161	3,542	50	3.45
265011679	22.33	161	3,542	50	3.45
265011677	22.33	161	3,542	50	3.45
265011678	22.33	161	3,542	50	3.45

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla anterior, el tamaño de muestra “n” se determina 50 piezas para todos los modelos dado que los tamaños de lote se encontraron en el mismo intervalo de 3,201 a 3,200 piezas. De alguna manera esto ayuda a que sea estándar y no haya fluctuaciones dentro de la rutina diaria establecida para el inspector de calidad, por lo tanto, el tamaño de muestra será 3.45 muestras por día; se redondea a 3 muestras.

Frecuencia.

Para la frecuencia de las tomas de datos de la muestra por parte del inspector de calidad se determina en base al plan de trabajo que se tiene en la línea de producción de 3 turnos, es decir, la actividad será por turno al día. La toma de la información se precisa de forma aleatoria durante el turno de 8 horas por parte del inspector, de tal manera que los datos no sean de piezas o parámetros consecutivos, esto con el fin de tomar en cuenta el mayor número de factores que suceden durante el proceso de manufactura del sensor de desgaste de balata.

4.2.2. Análisis de resultados

A través de las herramientas definidas en la metodología propuesta para la etapa 2, se seleccionaron 5 operaciones críticas del proceso de manufactura de las 18 operaciones totales

de la línea de producción, de las cuales se determinaron 12 características o variables relevantes del proceso de manufactura que serán usadas para su análisis e interpretación en la etapa que sigue. De igual manera se documentaron las propiedades de las 12 variables relevantes dentro del programa estadístico a través de las máscaras de datos por medio de la configuración de estos para proceder con el registro de las variables por parte del inspector de calidad en la siguiente etapa.

También se definió la cantidad de tamaño de muestra de los datos recolectados y la frecuencia de esta recolección dentro de la línea de producción.

4.3 Etapa 3. Procesamiento y visualización estadístico

Esta etapa se considera significativa para la última etapa ya que se enfoca a realizar el análisis e interpretación de la información obtenida previamente.

4.3.1 Desarrollo

- **Recolección de los datos y llenado de la información**

Se inicia por realizar la recolección de la información por parte del inspector de calidad dentro de la línea de producción y registrarla en la máscara de datos dentro del programa estadístico de manera sistemática. Se realiza la confirmación del proceso de esta actividad mediante una auditoría con la serie de preguntas donde en caso de algún hallazgo donde la respuesta sea un “no” se deberá describir una acción para poder corregir. En la *Tabla 13* se observa un ejemplo de esta auditoría realizada a uno de los inspectores de calidad.

Tabla 13. Auditoría de confirmación para llenado de la información en la máscara de datos

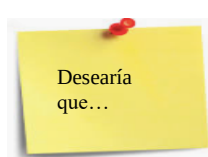
Auditoría de confirmación de proceso						
Turno	1er turno	Fecha			Nov-20	
Pregunta	Plan de reacción	Si	No	Comentario	Descripción de la acción	Fecha
1.- ¿El personal conoce abrir perfectamente cada máscara de datos?	Corregir en el momento	x				

2.- ¿El personal está registrando la información en el campo correcto?	Corregir en el momento	x				
3.- ¿El personal guarda la máscara de datos correctamente en la base de datos?	Corregir en el momento	x				
4.- ¿El personal está tomando de manera adecuada la muestra de información de la línea de producción?	Corregir en el momento	x				
5.- ¿La actividad corresponde con lo descrito en la instrucción de operación?	Corregir en el momento		x	Actualizar la ventana donde se abre la información	Corregir instructivo	nov-20
6.- El personal entiende la operación realizada	Corregir en el momento					

Fuente: Elaboración propia

En este paso también se toma en consideración la retroalimentación del inspector de calidad hacia la nueva actividad que están desempeñando como un factor importante para promover la motivación y sentirse escuchados. Esta retroalimentación se realiza a través de la herramienta de Pensamiento de diseño o por sus siglas en inglés Design Thinking denominada “Me gustaría que, desearía que, y si” donde el objetivo es obtener los comentarios personales de cada inspector de calidad sobre la actividad implementada para detectar áreas de oportunidad que sirvan para eficientizar la operación.

En la *Figura 36* se puede apreciar los comentarios que realizaron los inspectores de calidad con respecto al uso del programa estadístico, la mayoría coincide que se debe incrementar la flexibilidad y capacidad del llenado de la información instalando el programa en otros equipos de cómputo del área de producción.



- 1.- Una PC o en su caso instalar el programa en la Tablet (Luzma)
- 2.- Seguir monitoreando el proceso es buena herramienta, además de que como equipo aprendemos más cosas. (Luzma)
- 3.- Así se me hace bien. (Flor)

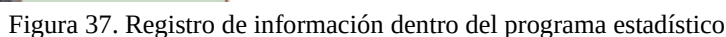
- 1.- Los datos clasificados por mes (Luzma)
- 2.- Que se nos retroalimentara al equipo, es decir; el comportamiento que tuvo el proceso y si implementaron mejoras (en caso de aplicar) (Luzma)

- 1.- Que lo agregues a las demás computadoras. (Flor)
- 2.- Pienso que por practicidad que pudiéramos abrir el programa en cualquier computadora (Sandy)
- 3.- Solo me gustaría que se pudiera abrir en cualquier monitor ya que a

- 3.- Quitar los valores que son más estables en el proceso (Luzma)
- 4.- Que tenga el nombre de los líderes de línea (Flor)

Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 37* se puede ver una sección de los datos cargados al programa estadístico que pertenecen a variable relevante de altura de pin en conector. Cabe señalar que en la máscara de datos se puede tener la rastreabilidad y trazabilidad de los datos ingresados, como por ejemplo, día y hora en la que se registró, el usuario quien registro, si el dato anterior fue borrado, etc.



98

- **Determinación del modelo de visualización**

En esta etapa se determina el tipo de representación gráfica que será mostrado una vez que los datos recolectados sean procesados por el programa estadístico, de tal manera que sea fácil de interpretar la información. El programa estadístico qs-STAT contiene un gran número de herramientas de visualización que se pueden emplear para la visualización de los resultados de los datos. Entre las herramientas que ofrece se encuentran varios tipos de diseño de formularios o reportes, distintos tipos de gráficos con los valores individuales o grupales.

Se realiza una matriz de decisión para elegir las herramientas de visualización de los datos que serían los más apropiados para mostrar y en conjunto con el equipo de trabajo se determina el listado de las opciones y los factores relevantes a considerar. Se procede a dar una calificación a cada factor de acuerdo con su importancia, en este caso se determina una escala del 1 al 5. El número 1 indica la opción menos conveniente y el número 5 el más conveniente, después se da el peso a cada factor que deberá ser diferente entre ellos, para permitir determinar cuál es el más importante.

Dentro de los factores relevantes para la selección de la herramienta de visualización se determinaron los siguientes:

- **Facilidad de entender.** – Que se pueda comprender fácilmente a través de la representación ilustrada. (Valor 5)
- **Facilidad de obtener.** – Se refiere al tiempo que el programa tarde en procesar esa herramienta. (Valor 2)
- **Cantidad de información que muestra.** - Se refiere a la cantidad de información que se presenta en la herramienta de visualización, esto pudiera incluir títulos, escala, porcentajes, etc. (Valor 4)
- **Facilita la comparación de datos.** - Se refiere a que por la misma naturaleza de la herramienta sea simple la comparación entre las características. (Valor 3)

En la *Tabla 14* se puede observar la calificación de cada opción de acuerdo con cada factor, esta calificación fue proporcionada por la retroalimentación del equipo de trabajo de los

departamentos involucrados en el proyecto. En la columna de Puntuación del lado derecho se observa la suma de cada múltiplo de la calificación con respecto al valor de cada factor, una vez realizada la calificación

Tabla 14. Matriz de selección para elegir la herramienta de visualización

Matriz para seleccionar la mejor alternativa para la visualización de los datos					
Opciones	Facilidad de entender	Facilidad de obtener	Cantidad de información que muestra	Facilita la comparación de datos	Puntuación
Peso	5	2	4	3	NA
1.- Histograma	5	5	5	3	64
2.- Diagrama de caja	3	4	3	5	50
3.- Gráfico de control de calidad	4	5	4	5	61
4.- Informe	3	3	4	3	46
5.- Tabla de datos	3	3	4	3	46
6.- Gráfico de medias	4	4	2	4	48
7.- Gráfico individual	4	5	4	4	58
8.- Gráfico de dispersión	4	4	3	2	46
9.- Estadísticas de las cotas	4	4	5	4	60

Fuente: Elaboración propia

Como se puede concluir en base a los resultados de la selección, las herramientas de visualización más factibles fueron: histograma, gráfico de control de calidad, gráfico x y, estadística de las cotas por lo que en el paso siguiente se estarán haciendo uso de estas. (marcadas en color azul)

- **Análisis e interpretación de los datos**

Una vez que las herramientas de visualización fueron seleccionadas por el equipo de trabajo se procede a revisar cada una de las variables relevantes basada en estadística descriptiva. Es importante mencionar que el periodo de tiempo que se ha tomado para esta etapa comprende de los datos generados desde el mes de septiembre del 2020 al mes de abril del 2021 en la línea de producción, lo cual significa un lapso de 7 meses.

Para fines de proporcionar una explicación más detallada y comprensible hacia el lector se decide realizar el análisis a una de las doce variables relevantes seleccionados en la etapa anterior usando las 4 herramientas de visualización propuestas. A continuación, se haría el mismo procedimiento de análisis hacia las variables relevantes restantes, pero de manera grupal.

En la *Figura 38* se puede observar el extracto del reporte de las estadísticas de cota para la variable relevante de altura de pin 1 de conector, este indica un total de datos de 545 que fueron procesados “n(tot)”, el valor mínimo y máximo que se tomaron en cuenta fueron de 10.15 mm y 10.51 mm respectivamente, la media de los datos corresponde a 10.2514 mm. El tipo de distribución de los datos corresponde con la distribución Mezclada, la cual es calculada en automático por el programa estadístico a través de una estrategia de análisis.

Char.No.	Char.Descr.	T	Unit	n _{tot}	x _{min}	x _{max}	R	$\bar{x}$	$X_{up3}-X_{lo3}$	Index	Overall evaluat	Histogram Indi	Index	Overall
1	Altura de pin 1. Conector	0.50	mm	545	10.15	10.51	0.36	10.2514	0.3945	P _p 1.27	 The re		P _{pk} 0.75	

Nº Pieza	026501XXXX	Descr. Pieza	PR1. Altura de pin 1. Conector BPV
Nº Caract.	1	Descr.Caract.	Altura de pin 1. Conector BPWS

Valores de Plano		Valores medidos		Valores estadísticos	
T _m	10.40	$\bar{x} - T_m$	-0,15	$\bar{x}$	10.2514
LIE	10.15	x _{mín}	10.15	x _{in3}	10.1186
LSE	10.65	x _{máx}	10.51	x _{su3}	10.5131
T	0.50	R	0.36	$x_{su3}-x_{in3}$	0.3945
		n <T>	545	p <T>	96.95386 %
		n >VLS	0	p >VLS	0.00012%
		n <VLI	0	p <VLI	3.04602%
		n(tot) tot	545	n(tot) efi	545

Modelo de distr.		Distribución mezclada (EM)	
Tipo de cálculo		M _{2,1} Percentil (0,135%-50%-99,865%)	
Índice probable de funcionamiento	=	P _p	1.19 ≤ 1.27 ≤ 1.34
Índice crítico de funcionamiento	=	P _{pk}	0.70 ≤ 0.75 ≤ 0.81

	Los requisitos no fueron satisfechos (P _p ,P _{pk})	
Método de cálculo		BOSCH 2018

Figura 38. Extracto del reporte de estadísticas de cotas

Fuente: Elaboración propia

De igual manera se puede observar los resultados de los índices probables de funcionamiento oscilan entre un valor de 1.19 y 1.34 Pp (Desempeño en el proceso o Process performance, por sus siglas en inglés) siendo el mínimo requerido de 1.33 de acuerdo con la Norma IATF-16949:2016, por lo que indicaría que esta característica no es estable ni aceptable en el proceso de manufactura pero capaz de serlo, es decir que puede ser ajustada por medio de acciones de corrección ejecutadas directamente en el proceso de manufactura donde se genera esta característica para que pueda tener una estabilidad adecuada. Sin embargo, por el momento no se puede realizar una evaluación completa sin antes revisar las demás herramientas de visualización.

En la *Figura 39* se muestra la herramienta de gráfica de valores individuales de la misma variable relevante de altura de pin 1 de conector donde se observa el x_{su3} y x_{in3} los cuales se refieren a la dispersión o sesgo de los datos recolectados y procesados, en este caso va de 10.14 a 10.56 mm (señalados en recuadro amarillo).

Lo conveniente es que el sesgo se encuentre dentro de los límites de especificación ya que en caso de que se encuentran fuera de ellos significaría una variación que llevaría a un impacto en paros técnicos de línea contrastantes para ajustar la variable. De igual manera, se observa que los datos recolectados y registrados se adhieren al límite de especificación inferior de la variable, lo cual se representa un riesgo de partes a producir con valores debajo de este.

Sin embargo, por el momento no se puede realizar un diagnóstico completo sin antes revisar las dos últimas herramientas de visualización ya que este resultado solo representa información adicional.

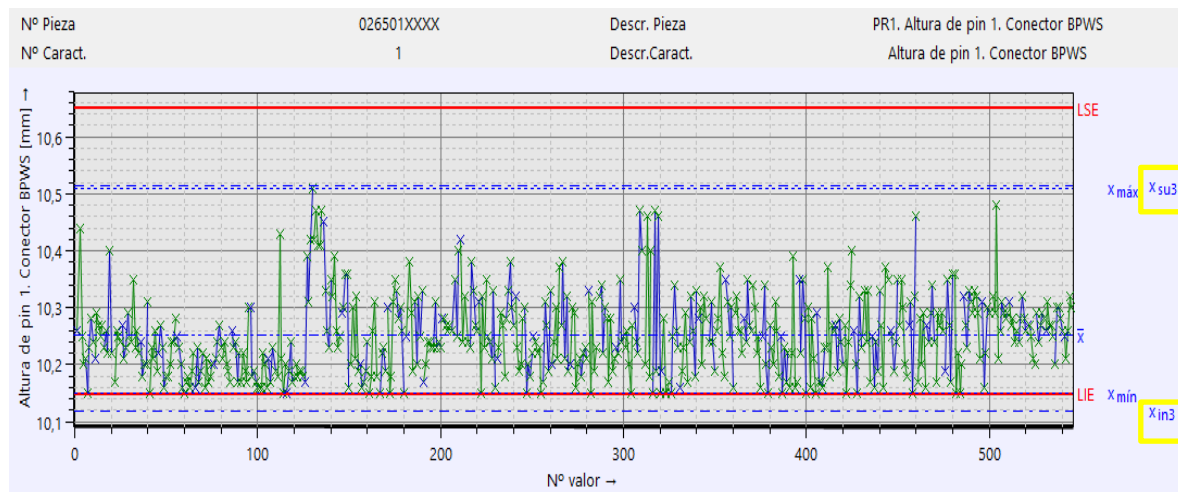


Figura 39. Gráfico de valores individuales de la característica de altura de pin 1 de conector
Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 40* se observa el gráfico de histograma para la misma característica de altura de pin 1 de conector, en esta imagen se puede observar que se tiene la posibilidad de producir un estimado de 1,223.08 partes por millón (ppm por sus siglas en inglés) fuera del límite de la especificación menor correspondiente a 10.15 mm, por otro lado se observa que es probable que un total de 0 ppm se produzcan por fuera de la especificación mayor que corresponde a 10.65 mm Estos valores son los que se observan en la parte inferior de la figura en el recuadro amarillo

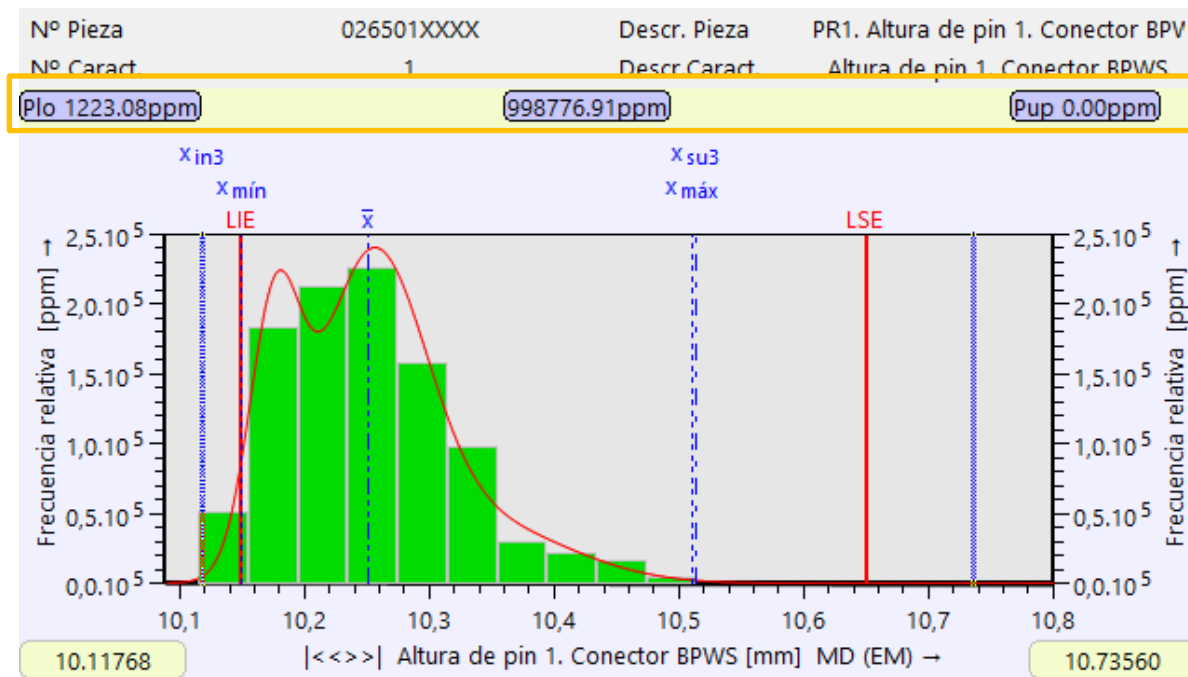


Figura 40. Histograma de la característica de altura de pin 1 de conector
Fuente: Elaboración propia

Para continuar con el análisis, en la *Figura 41* se observa la herramienta de gráfico de control de calidad de la misma característica de altura de pin 1 de conector donde, en la primera sección se muestra un evento con más de 7 puntos consecutivos por debajo de la línea central del promedio equivalente a 10.25 mm de los datos registrados, de igual manera se señala dos eventos por arriba de la línea central, los cuales son señalados en color morado. Este indicador nos dice que durante ese período de tiempo donde fueron recolectados los datos, aconteció una causa especial en el proceso de manufactura, es decir, algo inusual que provocó una importante desviación en el proceso.

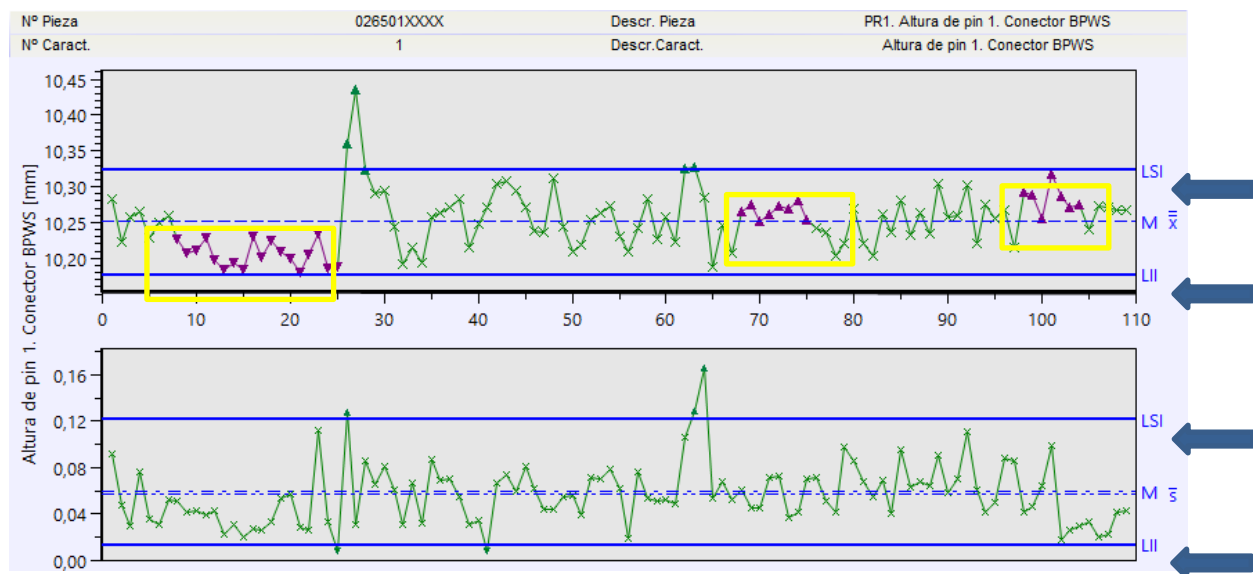


Figura 41. Gráfico de control de calidad de la variable de altura de pin 1 de conector

Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 42* se observa el mismo gráfico individual de la característica de altura de pin 1 de conector pero bajo otra configuración donde también se muestran los límites de control calculados en las líneas azules verticales, donde el límite de control inferior calculado LII corresponde a 10.1789 mm y el límite de control superior LSI es de 10.10.3240 mm (señalado por la línea color azul) siendo los puntos en color rojo el conjunto de datos que salen fuera de estos límites de control (círculo amarillo), como se puede percatar los límites de control son más cerrados que los límites de especificación, estos se calculan de manera automática basados en la fluctuación de los datos y representa la variación más amplia de los resultados del proceso de manufactura que se consideraría estadísticamente normal. Por lo tanto, lo ideal es que los valores de la variable relevante no salgan de estos límites de control, puesto que indicaría ciertas anomalías en el proceso, conociéndose como causas especiales son impredecibles y provocan fluctuaciones en el proceso.

En la segunda sección se muestra el gráfico de desviación estándar del conjunto de datos, donde también se calcula un límite de control superior de 0.122 mm y un límite de control inferior de 0.018 mm los cuales muestran la cantidad esperada de variación en los valores de la característica de altura de pin de conector 1. En este ejemplo, los valores que salen por

fuera de los límites de control marcado en rojo pueden influir en las estimaciones de los parámetros de proceso e impedir que los límites de control representen fielmente el proceso.



Figura 42. Gráfico 2 de control de calidad de la variable de altura de pin 1 de conector

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó al inicio de este paso, se realiza el mismo proceso de análisis con cada una de las 11 variables relevantes restantes seleccionados de manera grupal. Iniciando con el gráfico de estadísticas de cota como se observa en la *Figura 43* el cálculo de Pp, Cp (Capacidad del proceso o Capability process por sus siglas en inglés) de cada variable donde se considera, de acuerdo con la Norma IATF-16949:2016;

- Pp-Ppk. - Proceso inestable pero capaz y deber ser mayor a 1.33
- Cp-Cpk. - Proceso estable y capaz y debe ser mayor a 1.67

El “k” se refiere al cálculo de los datos a largo plazo.

Cabe señalar que en el análisis de esta herramienta de visualización para la variable de altura de pin 1 de conector, el programa estadístico no dedujo el resultado de Cp o Cpk basados en los valores correspondientes registrados por lo que se explicación de estos indicadores se explican hasta este momento.

Descr.Caract.	T	Unidad	n(tot) tot	x _{min}	x _{máx}	R	$\bar{x}$	x _{su3} -x _{mn3}	Índice	Evaluación tot	Histograma Va	Índice	Evaluaci
Altura de pin 1. Conector BPWS	0.50	mm	223	10.15	10.51	0.36	10.2440	0.4155	P _p 1.20	Los rec		P _{pk} 0.93	Los rec
Fuerza de soldadura de resistencias	0.80	W	238	1.14	1.40	0.26	1.3926	0.3174	P _p 2.52	Los rec		P _{pk} 1.01	Los rec
Altura de crimpado inner blanco de punch grid	0.08	mm	253	1.01	1.09	0.08	1.0533	0.1051	P _p 0.76	Los rec		P _{pk} 0.75	Los rec
Altura de crimpado inner verde de punch grid	0.08	mm	245	1.00	1.09	0.09	1.0527	0.1287	P _p 0.62	Los rec		P _{pk} 0.58	Los rec
Tiempo de soldadura de puente	0.80	ms	243	10.40	10.40	0.00	10.4000			--- R = 0	--- [901]		---
Fuerza de soldadura de puente	1.00	W	238	1.80	2.90	1.10	2.3356	0.8563	C _p 0.74	Los rec		C _{pk} 0.59	Los rec
Resistencia estado 2	0.130	ohms	244	1.298	1.306	0.008	1.30132	0.00930	P _p 13.97	Los rec		P _{pk} 12.72	Los rec
Resistencia estado 1	5.000	ohms	243	0.000	0.003	0.003	0.00083	0.00344	P _p 1453.2	Los rec		P _{pk} 0.54	Los rec
Altura de pin 2. Conector BPWS	0.50	mm	90	10.15	10.47	0.32	10.2711	0.4314	C _p 1.16	Los rec		C _{pk} 0.56	Los rec
Altura de crimpado inner blanco	0.06	mm	210	0.80	0.88	0.08	0.8539	1.0555	P _p 0.58	Los rec		P _{pk} 0.54	Los rec
Altura de crimpado inner verde	0.06	mm	200	0.82	0.88	0.06	0.8540	0.0880	C _p 0.68	Los rec		C _{pk} 0.60	Los rec
Tiempo de soldadura de resistencias	4.80	MS	243	4.60	10.40	5.80	7.8421	6.9133	P _p 0.69	Los rec		P _{pk} 0.61	Los rec

Figura 43. Comparación de estadísticas de cotas del conjunto de variables relevantes seleccionadas
Fuente: Elaboración propia

De igual manera se revisa la herramienta de gráfico de histograma para cada variable como lo muestra la *Figura 44* observándose las PPM's estimadas de cada una que se estarían generando fuera de especificación. Para la variable de tiempo de soldadura de puente no es posible calcular este gráfico en específico ya que todos los valores registrados correspondientes no presentaron variación; siempre fue el mismo valor.

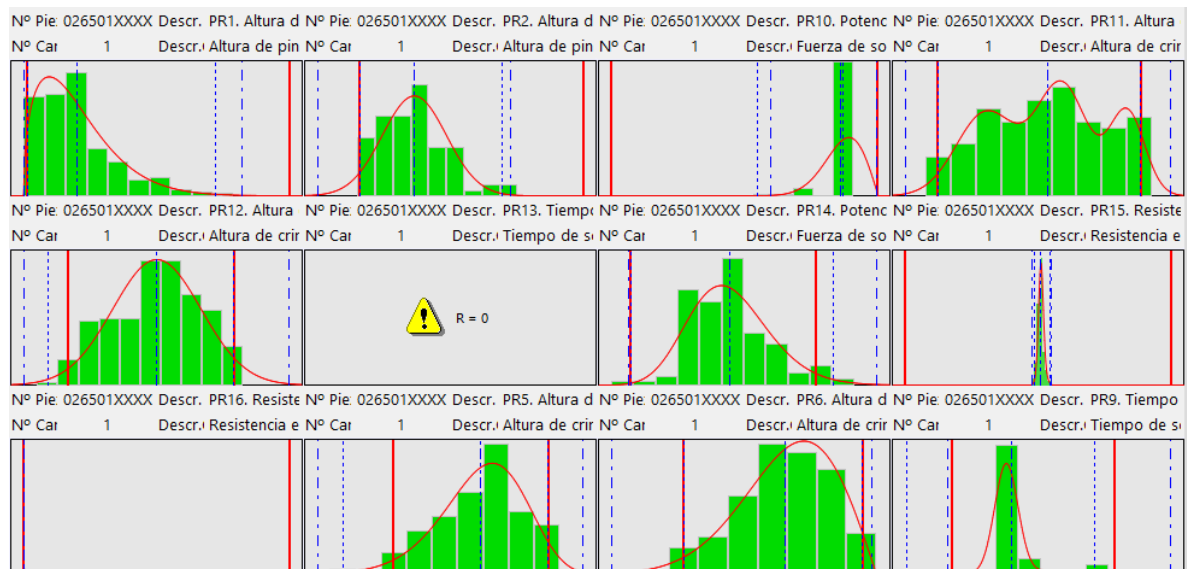


Figura 44. Comparación de histogramas del conjunto de variables seleccionadas
Fuente: Elaboración propia

En seguida, se procede a analizar cada una de las variables relevantes seleccionadas por medio de la herramienta de gráfico de control de calidad como lo muestra la *Figura 45* donde se observa los límites de control calculados para cada una:

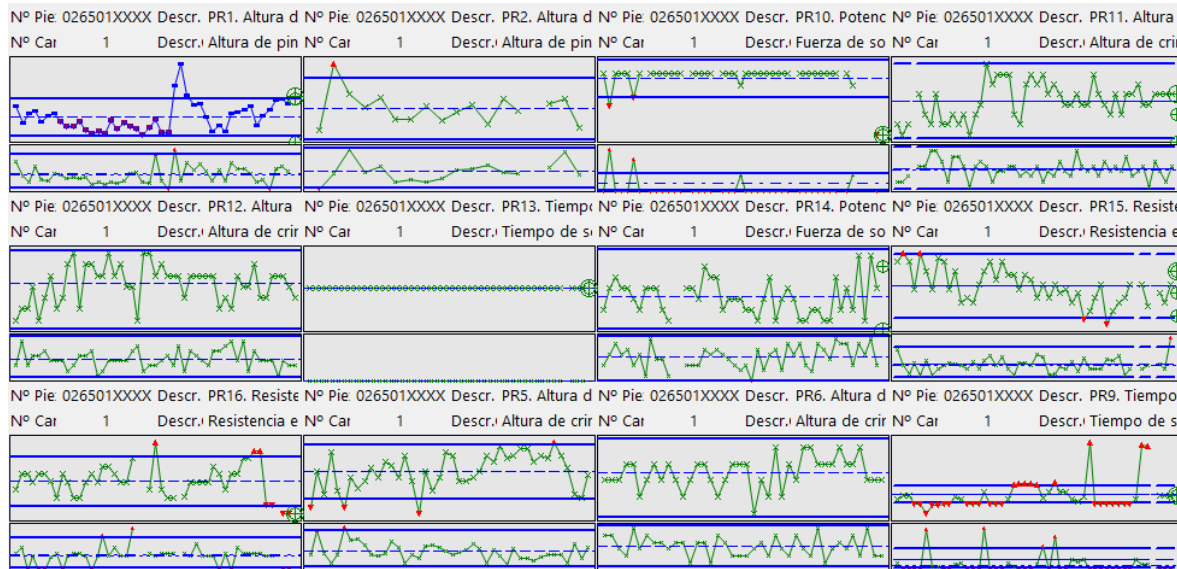


Figura 45. Gráfico de control de calidad del conjunto de variables relevantes seleccionadas
Fuente: Elaboración propia

Por último, se analiza cada variable relevante seleccionada en la herramienta de gráfico de valores individuales para observar la dispersión y sesgo de los datos recolectados y procesados en el programa estadístico de cada una como se muestra en la *Figura 46*.

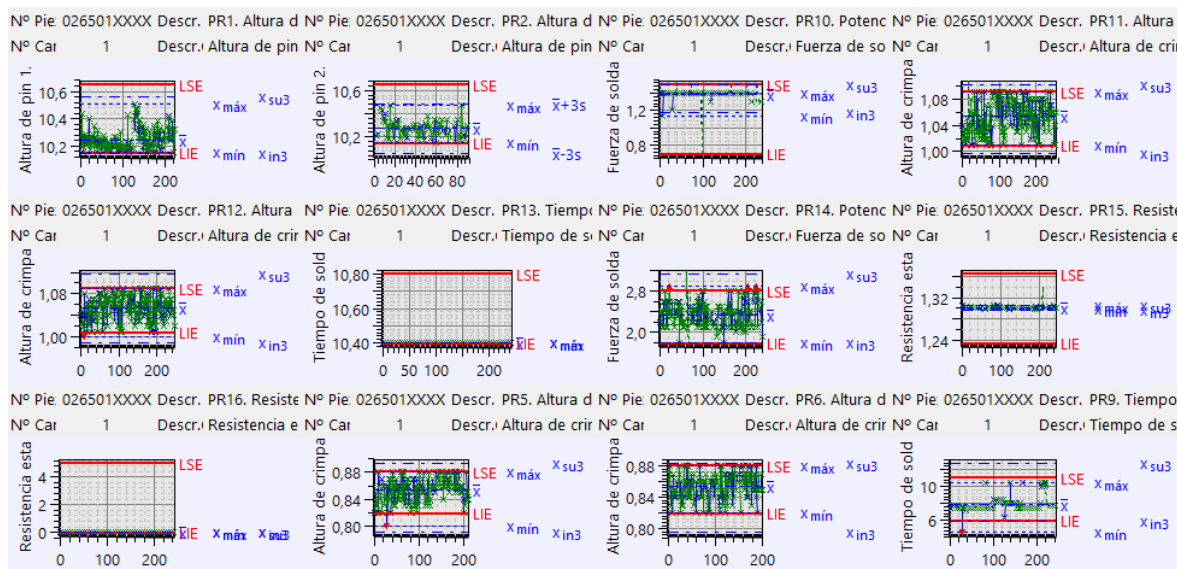


Figura 46. Gráfico de valores individuales del conjunto de variables relevantes seleccionadas
Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Análisis de resultados

Como resultado de la etapa 3 se realizó el monitoreo de la recolección y llenado de la información por parte del inspector de calidad en las máscaras de datos dentro del programa estadístico a través de una auditoría, donde en los primeros días se encontraron algunas desviaciones al seguir los instructivos de operación, adicional se encontraron áreas de oportunidad en la documentación para explicar a detalle la nueva actividad.

Se determinaron cuatro herramientas de visualización para mostrar los datos al equipo de trabajo en base a las necesidades del área y fueron las que se usaron para analizar e interpretar cada una de las 12 variables relevantes que se seleccionaron en la etapa anterior. Este análisis servirá para evaluar la condición actual de cada variable en la última etapa. Cabe resaltar que las herramientas dentro de las gráficas de visualización ofrecen opciones adicionales para un grado de profundidad hacia un experto, por ejemplo.

4.4 Etapa 4. Valorización y extracción del conocimiento

En esta etapa de Valorización y extracción de conocimiento se usa la información obtenida para evaluar los resultados que se obtuvieron a través del análisis e interpretación de las herramientas gráficas de la etapa anterior.

4.4.1 Desarrollo

- **Evaluación de las variables relevantes**

Una vez que se analiza e interpreta cada herramienta gráfica con los detalles que proporciona cada uno se procede a generar una Matriz de Evaluación para visualizar el conjunto de las variables relevantes seleccionadas del proceso de manufactura.

En la *Tabla 15* se compilan los resultados obtenidos donde se pueden observar el conjunto de las 12 variables relevantes del proceso. En la columna siguiente se menciona si la estabilidad y la capacidad de cada variable y la siguiente columna indica la sumatoria de las partes por millón estimadas fuera de ambos límites de especificación, en la siguiente columna

se muestra la presencia de causas especiales y la cantidad de ellas observadas en cada variable.

Tabla 15. Matriz de evaluación del conjunto de las variables relevantes del proceso de manufactura

Matriz de evaluación									
No	Característica	Estabilidad y capacidad del proceso				PPM's fuera de especificación	Causas especiales		
		Proceso estable		Proceso Capaz					
		Si	No	Si	No			Si	No
1	Altura de pin 1 conector BPWS		x		x	16,597.54	x		1
2	Altura de pin 2 conector BPWS	x			x	43,114.87		x	0
3	Altura de crimpado de inner blanco de conector BPWS		x		x	1,928,290.81	x		1
4	Altura de crimpado de inner verde de conector BPWS	x			x	1,967,869.49	x		1
5	Tiempo de soldadura de resistencias (ms)		x		x	15,970.4	x		3
6	Fuerza de soldadura de resistencias (W)		x	x		374	x		1
7	Altura de crimpado inner blanco de punch grid		x		x	22,377.45	x		2
8	Altura de crimpado inner verde de punch grid		x		x	65,233.83	x		2
9	Tiempo de soldadura de puente (ms)	N A	NA	NA	NA	NA	N A	N A	NA
10	Fuerza de soldadura de puente (W)	x			x	28,038.23	x		2
11	Resistencia estado 2		x	x		0	x		2
12	Resistencia estado 1		x	x		0	x		1
Total		3	8	3	8	4,087,866.62	10	1	11

Fuente: Elaboración propia

Explicando los resultados se determina que sólo 3 de las 12 variables relevantes son procesos reales, el resto de las variables no lo son. Sin embargo, de igual manera 3 de las 12 variables son capaz de ajustarse para cumplir con los requerimientos de los indicadores de proceso Ppk y Cpk, el resto requiere de acciones correctivas para revertir esa condición.

En cuanto a PPM's, se encuentra que las variables de "Altura de crimpado de inner blanco" y "Altura de crimpado de inner verde" representan la cantidad más grandes de partes por millón estimadas producidas fuera de los límites de especificación. En cuanto a las variables que no representan ninguna parte por millón estimadas calculadas fuera de especificación son: "Resistencia estado 2" y "Resistencia estado 1". Se observa también que un total de 4,087,866.62 ppm's como suma total de todas las variables.

Dentro de las causas especiales observadas en las variables relevantes se especifica que en 10 de las 12 presentan al menos una causa especial causada por un acontecimiento anormal en la estación de trabajo correspondiente dentro de la línea de producción.

Una vez que se realiza la evaluación de las variables relevantes se prosigue a generar la prioridad de cada una de ellas de acuerdo con las necesidades del área. Cabe señalar que se tomó en consideración la retroalimentación del equipo de trabajo para realizar la valoración de cada resultado de la matriz de evaluación, es decir se determinó que:

- Proceso estable: Si; 0 puntos, No, 3 puntos.
- Proceso capaz: Si; 0 puntos, No, 4 puntos.
- Cantidad de ppm's: 0 ppm's; 0 puntos, de 1 a 50,000 ppm's; 2 puntos, de 50,000 a 100,000 ppm's; 3 puntos, mayor a 100,000 ppm's; 4 puntos.
- Causas especiales observadas: 0 causas especiales; 0 puntos, 1 causa especial; 2 puntos, 2 o más causas especiales; 3 puntos.

En la *Tabla 16* se puede mostrar la puntuación obtenida total de cada variable relevante una vez que se evaluó cada factor, basado en el resultado del análisis e interpretación de estas. Para la variable no. 9 denominada "tiempo de soldadura de puente" no se calificó debido a que no presenta variación en los datos obtenidos como ya se mencionó antes, sin embargo, se toma en cuenta dentro del conjunto de variables relevantes para mayor comprensión del tema.

Tabla 16. Matriz de priorización de las variables relevantes

Matriz de priorización						
Objetivo: Generar el orden de prioridad a las variables relevantes						
No.	Característica	Requerimiento auditable		Piezas defectuosas	Variación en el proceso	Total
		Proceso estable	Proceso Capaz	PPM's fuera de especificación	Cantidad de causas especiales	
1	Altura de pin 1 conector BPWS	3	4	2	2	11
2	Altura de pin 2 conector BPWS	0	4	2	0	6
3	Altura de crimpado inner blanco de conector BPWS	3	4	4	2	13
4	Altura de crimpado inner verde de conector BPWS	0	4	4	2	10
5	Tiempo de soldadura de resistencias (ms)	3	4	2	3	12
6	Fuerza de soldadura de resistencias (W)	4	0	2	2	8
7	Altura de crimpado inner blanco de punch grid	3	4	2	3	12
8	Altura de crimpado inner verde de punch grid	3	4	3	3	13
9	Tiempo de soldadura de puente (ms)	NA	NA	NA	NA	0
10	Fuerza de soldadura de puente (W)	0	4	2	3	9
11	Resistencia estado 2	3	0	0	3	6
12	Resistencia estado 1	3	0	0	2	5

Fuente: Elaboración propia

Derivada de los resultados de la matriz de priorización se obtiene la *Tabla 17* donde se ordena de manera descendente las variables relevantes de la línea de producción de acuerdo con su valor.

Tabla 17. Lista de prioridad de las variables relevantes en orden descendente

No.	Característica	Total
1	Altura de crimpado inner blanco de conector BPWS	13
2	Altura de crimpado inner verde de punch grid	13
3	Tiempo de soldadura de resistencias (ms)	12
4	Altura de crimpado inner blanco de punch grid	12
5	Altura de pin 1 conector BPWS	11
6	Altura de crimpado inner verde de conector BPWS	10
7	Fuerza de soldadura de puente (W)	9
8	Fuerza de soldadura de resistencias (W)	8
9	Altura de pin 2 conector BPWS	6

10	Resistencia estado 2	6
11	Resistencia estado 1	5
12	Tiempo de soldadura de puente (ms)	0

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar las variables que requieren de mayor atención son: “Altura de crimpado inner blanco de conector BPWS”, “Altura de crimpado inner verde de punch grid”, “Tiempo de soldadura de resistencias (ms)” y “Altura de crimpado inner blanco de punch grid” donde quedan empatadas con 13 y 12 puntos respectivamente.

- **Definición de los indicadores clave de procesos relacionados**

En este paso se involucra el cuadro de mando integral (o por sus siglas en inglés Score Card) donde se revisa cada uno de los indicadores del área de producción del sensor de desgaste de balatas, como se recordará en la etapa 3 donde se seleccionaron las variables relevantes de la línea de producción se categorizaron en dos tipos: características de producto y proceso.

Las características de producto pueden ser observadas una vez manufacturado la parte en cuestión, por lo que significaría en dado caso que alguna pieza producida con un valor fuera de sus tolerancias de especificación se reflejaría como costos de defectos internos, a su vez, las características de proceso si se encuentran de igual manera en rangos por fuera de su especificación ya definidas representarían un paro técnico para ajuste del equipo o máquina que origina ese valor.

Por lo tanto, haciendo una relación de las dos categorías dadas a las variables relevantes y los indicadores clave de proceso pertenecientes al área de producción observadas en la *Tabla 18* se define como iniciativa estratégica que al realizar acciones correctivas y de mejora en las características de producto se contribuiría al indicador de “Costo de defectos de calidad internos”, de igual manera al ajustar y mejorar sistemáticamente las características de proceso se repercutiría en el indicador de Efectividad total de los equipos de manufactura. En la columna *Meta* el valor TUSD se refiere a miles de dólares.

Tabla 18. Cuadro de mando integral del área de producción

Perspectiva	Objetivo estratégico	Indicador clave de proceso (ICP)	Meta	Iniciativa estratégica
Perspectiva financiera	Ventas	Volumen de piezas	≥ 2.81 TUSD	
	Presupuesto	Gastos	≤ 3.41 TUSD	
	Inventario	Costo de inventario	≤ 3 TUSD	
Personal	Seguridad	Accidentes	0	
	Satisfacción del personal interno	Tiempo extra	7.5%	
Perspectiva del cliente	Satisfacción del cliente	Reclamos de calidad 0 KM	0%	
		Entregas a tiempo	100%	
Perspectiva del proceso interno	Calidad	Costo de defectos de calidad internos	1.8%	Acciones correctivas y de mejora para las características de producto: “Altura de crimpado inner blanco de conector BPWS”, “Altura de crimpado inner verde de punch grid”, “Altura de crimpado inner blanco de punch grid”
	Utilización	Efectividad total de los equipos	85%	Acciones correctivas y de mejora para las características de proceso: “Tiempo de soldadura de resistencias (ms)”
		Productividad	90%	
Perspectiva de aprendizaje y crecimiento	Nivel de competencia del personal	Personal capacitado	100%	

Fuente: Elaboración propia

- **Planeación estrategia basado en la validación de los resultados**

Para completar la iniciativa estratégica y una vez que se ha tenido el análisis de las variables relevantes en la sección anterior se contempla el uso de la herramienta FODA para contar con un panorama completo de las decisiones que se deban tomar y además promueva la mejora continua de los resultados obtenidos.

En la *Tabla 19* se señalan los puntos obtenidos de la situación actual conocida, tomando en consideración las variables externas e internas de la organización de tal manera que la Empresa Automotriz pueda reconocer sus áreas de oportunidad y amenazas -mostradas en la columna de la derecha- para generar las líneas de acción y planes estratégicos pertinentes que aseguren la integridad del proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas. Del lado

izquierdo se muestra las fortalezas y debilidades también de la organización para ofrecer un punto de partida desde la cual mejorar el área.

Tabla 19. Análisis FODA de los resultados obtenidos

Variables internas	Variables Externas
<i>Fortalezas</i>	<i>Oportunidades</i>
- Las características que son importantes para el cliente son estables. - El parámetro de tiempo de soldadura de puente no tiene variación a través del tiempo.	- Posibilidad de soporte en el proceso de crimpado con expertos en planta líder de la empresa Automotriz. - Proveedor de equipo de soldadura en la misma región con posibilidad de proporcionar asistencia técnica de manera local.
<i>Debilidades</i>	<i>Amenazas</i>
- El proceso de crimpado (dos estaciones de manufactura) es voluble a través del tiempo. - Los parámetros de soldadura (tiempo) no se comportan de la misma manera entre las dos estaciones que se encuentran en la línea de producción.	- Potencial reclamo de calidad por parte del cliente por falta de continuidad (A) debido a que el proceso de crimpado no es robusto. - Riesgo de garantías en campo por funcionalidad en resistencia (Ohms) debido al soldado de estas.

Fuente: Elaboración propia

Derivado del análisis FODA se sugiere el uso del ciclo PDCA para dar continuidad a las mejoras identificadas, ya que esta herramienta es usada comúnmente por parte de la gerencia para mostrar el estatus de los indicadores de proceso de las unidades de manufactura para seguimiento de los cambios que generen en función de los objetivos de la organización.

En la *Tabla 20* se observa un ejemplo del ciclo PDCA del área, específicamente para el indicador de CDI, donde en la parte superior se observa el objetivo a alcanzar, como vimos al principio de este trabajo es de 1.8%, a un costado derecho se observa este indicador de proceso a través del presente año 2021, de enero a abril que es el tiempo transcurrido. En la parte inferior se pueden observar todas las actividades que se han concretado para alcanzar la meta del 1.8%, donde se asigna a un responsable para ejecutar la actividad, una fecha compromiso para la finalización de la tarea y se especifica el estado de la tarea.

Tabla 20. Extracto del Ciclo PDCA para el indicador de CDI del área

[illegible]

Fuente: Elaboración propia

En el recuadro azul se observan 3 actividades relacionadas a los hallazgos detectados y especificados durante el análisis FODA en la estación de crimpado de terminal de sensor y estación de soldadura de puente, el ciclo PDCA de esa fecha puede verse completo en el Anexo 5.

4.1.2. Análisis de resultados

Derivado de la última etapa se obtiene que a través de la matriz de evaluación es posible conocer la condición real de los procesos críticos de la línea de producción lo que puede orientar a la toma de decisiones de la gerencia basado en la obtención de la priorización de cada variable. Con el cuadro de mando integral se pudo relacionar que indicadores de proceso del área serían los impactados específicamente con la mejora de los resultados de las variables relevantes.

En cuanto el análisis FODA es posible determinar las principales áreas de oportunidad donde la gerencia puede inferir para incrementar la eficiencia del área de manufactura, de igual manera se definen las amenazas externas para conservar las medidas preventivas que salve guarden la integridad de la línea de producción, las cuales se despliegan como actividades planeadas en el ciclo PDCA de la organización, con personas responsables definidas para su seguimiento.

Capítulo 5. Validación de los resultados obtenidos en la aplicación de la minería de datos en el proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas

5.1 Validación de resultados

De acuerdo con los objetivos específicos planteados al inicio del proyecto es posible decir que fueron alcanzados a través del seguimiento de la metodología propuesta, es decir, con el uso de las herramientas expuestas se ha identificado la información relevante de los procesos de manufactura y del producto que describen en mayor medida el comportamiento o condición de la línea de producción del sensor de desgaste de balatas durante la etapa 2. En la etapa 3 se determinaron los modelos de visualización para la representación gráfica de la información de acuerdo con las necesidades del área para interpretar de una manera asequible los resultados obtenidos, se obtiene también un acceso rápido a la información histórica disponible para consultas y análisis.

En la etapa 4 se determinaron los indicadores clave de proceso del área que se verán impactados con el análisis e interpretación de las variables relevantes definidas en la etapa 2.

Con este cumplimiento de los objetivos específicos se cumple de igual manera el objetivo principal que manifiesta el desarrollo de un método sistemático para el análisis y visualización de la información el proceso de manufactura mediante la implementación de un programa estadístico y mejorar la toma de decisiones basados en datos reales con impactos a los indicadores del proceso.

Cabe señalar que adicional se considera también una planeación estratégica del análisis de los resultados para promover la mejora continua en la línea de producción a través de dos herramientas sencillas de usar y que tienen gran repercusión en la búsqueda de la eficiencia de los indicadores claves de proceso.

Conclusiones

Como se describió en la sección de la problemática, la manera en la que se administraba la información proveniente de la línea de producción del sensor de desgaste de balata dentro de la Empresa Automotriz no suscitaba un proceso de estructuración y análisis para el diagnóstico del estado del proceso de manufactura para la creación de propuestas de mejora para el mismo.

Con el uso de la metodología “Descubrimiento de conocimientos en la base datos” de la minería de datos se logra la identificación de los elementos para dar a conocer la situación actual de las variables relevantes, así como la generación de un modelo sistemático de recolección y registro de los datos obtenidos de la línea de producción durante los turnos trabajados en un periodo mayor a 6 meses, excediendo el alcance definido durante la parte inicial del proyecto. La implementación se alcanzó a través de la aplicación de 4 etapas de manera consecutiva.

Es así que, basado en la experiencia al término de este trabajo se puede decir que las hipótesis planteadas en el capítulo 2 donde se refiere al uso de un programa estadístico como posible herramienta para el análisis y visualización de los datos para un proceso de manufactura es viable siempre y cuando se establezca un proceso robusto para la recolección de los datos de salida del proceso mismo con todos los componentes identificados para que se permita compilar los datos históricos y que puedan ser de ayuda para evaluar y describir su situación.

De igual manera, es factible mencionar que las expectativas que se expusieron al inicio se cumplieron con el desarrollo de este trabajo contribuyendo de manera positiva a conocer más detalles específicos del proceso de manufactura del sensor de desgaste de balatas que al principio no se tenían, y a su vez, fueron de soporte la elaboración de un plan de acción con el enfoque de optimizar la línea de producción. También de determina que el uso del modelo sistemático una vez estabilizado y estandarizado proporciona seguridad y garantía de la veracidad de los resultados.

La ventaja de usar esta metodología es que el seguimiento de las etapas es clara y fácil de comprender y da pie a que se genere un involucramiento de los departamentos relacionados,

a través de la participación de los integrantes del equipo de trabajo en todo el proceso del proyecto, por lo que se pudo contar con una retroalimentación directa y a tiempo que ayudó a la implementación del proyecto.

Referente a la experiencia del uso del programa estadístico, de manera personal se puede mencionar que al principio del proyecto implicó un grado de dificultad, debido a que el soporte hacia el mismo ocurrió de manera remota con un proveedor externo a la organización y en ciertas ocasiones con colegas pertenecientes a la Empresa Automotriz de otras localidades por lo que la implementación y conocimiento en el manejo del programa estadístico sufrió un retraso de acuerdo con la fecha planeada. Sin embargo, el entendimiento para la utilización del programa sucedió en gran parte al momento de desarrollar los instructivos de trabajo para los usuarios finales.

Cabe resaltar que, para los usuarios finales, siendo los inspectores de calidad, en un principio señalaron sentirse un tanto frustrados por la “complejidad” del uso del programa estadístico, pero a través del tiempo y teniendo más experiencia con el mismo reconocieron que era mucho más sencillo al momento de manejarlo, incluso se demostró una agilidad adquirida con la reducción del tiempo invertido en la tarea.

Con lo que se aprendió en la realización de este estudio, como trabajo futuro se podría plantear la posibilidad de realizar un plan para replicar esta metodología del sistema de análisis y visualización de la información del comportamiento del proceso de manufactura en la línea 2 de la misma unidad de manufactura que fabrica el mismo producto de sensor de desgaste de balata para determinar si cuenta con el mismo patrón de comportamiento que la línea 1, y continuar con la implementación de este programa estadístico en otras áreas dentro de la misma unidad de manufactura.

Recomendaciones

Durante la ejecución de la etapa uno, en la selección, acceso e instalación del programa se determinó por usar solo un equipo de cómputo para el programa estadístico, sin embargo, se recomienda considerar los equipos de cómputo disponibles en el área para que se genere mayor flexibilidad y evitar tiempos muertos de espera para la disponibilidad de estos. De igual manera se recomienda no limitar la cantidad de accesos de usuarios al programa estadístico para que se puedan realizar consultas de los interesados.

Como una segunda fase de este proyecto, se propone estudiar la posibilidad de conectar los equipos de medición y/o máquinas de la línea de producción a un servidor local conectado al equipo de cómputo, para que la transferencia de los datos pueda ocurrir de manera automática y con ello remover el tiempo invertido por el personal relacionado a la carga de los datos en el sistema. Se sugiere también habilitar la opción de aviso al correo electrónico de los usuarios de los departamentos de soporte para que se focalice la atención a los puntos débiles y desviaciones de una manera más inmediata.

Por último, se recomienda considerar la disponibilidad de los gráficos en los diferentes idiomas que ofrece el programa estadístico para que en situaciones de benchmarking con las compañías de la misma familia de la Empresa Automotriz puedan ser compartidos o propuestos.

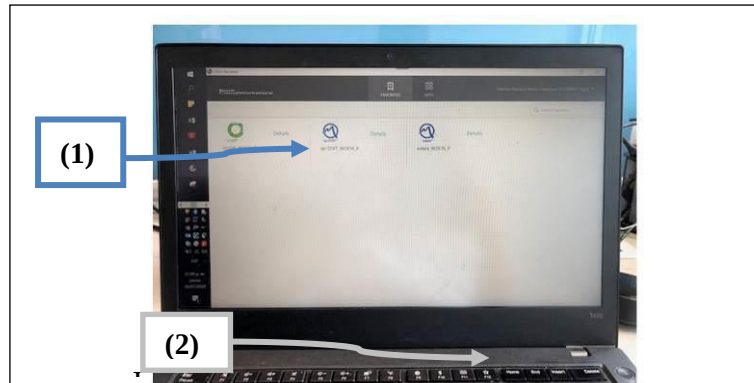
Referencias

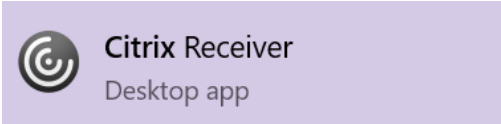
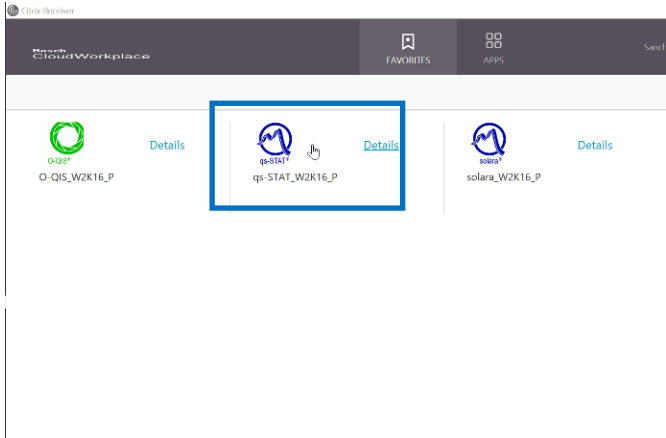
- Álvarez Jareño José Antonio, C.-S. V. (2018). *“Científico de datos”, la profesión del presente*. Universitat de València.
- Automotive Industry Action Group. (s.f.). *AIAG Automotive Industry Action Group*. Obtenido de IATF 16949:2016: <https://www.aiag.org/quality/iatf16949/iatf-16949-2016>
- Beltrán Martínez, B. (s.f.). *Minería de datos*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Braulio Gil, N., & Cuto Díaz, J. (2015). *Costumer Analytics*. UOC.
- Fabrizio, S. (2014). *Big Data ¿la ruta o el destino?* IE FOUNDATION.
- Gallardo Arancibia, J. A. (2009). *Metodología para la definición de requisitos en proyectos de DataMining (ER-DM)*. Facultad de Informática.
- García Herrero Jesús, M. L. (2012). *Técnicas de análisis de datos*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Gutiérrez Pulido Humberto, D. I. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. McGRAW-HILL.
- Han, J., Kamber, K., & Jian, P. (s.f.). *Data Mining. Concepts and Techniques*. Morgan Kauffman.
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9000:2015. Quality management systems — Fundamentals and vocabulary*. ISO/TC 176.
- Liao Xiaoqun, F. M. (2020). *Evaluating the Role of Big Data in IIOT-Industrial Internet of Things for Executing Ranks Using the Analytic Network Process Approach*. Pakistan: Habib Ullah Khan .
- Lugo Cabrera Carlos Mario, L. H. (2018). *Análítica de datos con aplicación en un caso práctico, mediante el uso de una herramienta libre*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Maimon, O., & Rokach, L. (2005). *Data Mining and Knowlegde Discovery Handbook*. Springer.
- Marcano Aular, Y. J., & Talavera Pereira, R. (2007). *Minería de Datos como soporte a la toma de decisiones empresariales*. Universidad del Zulia.
- UNIT (Instituto uruguayo de Normas Técnicas). (2009). *Herramientas para la mejora de la calidad* . INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TECNICAS .
- Vieria Braga, L. P., Ortiz Valencia, L. I., & Ramírez Carvajal, S. S. (2009). *Introducción a la Minería de Datos*. E-papers.

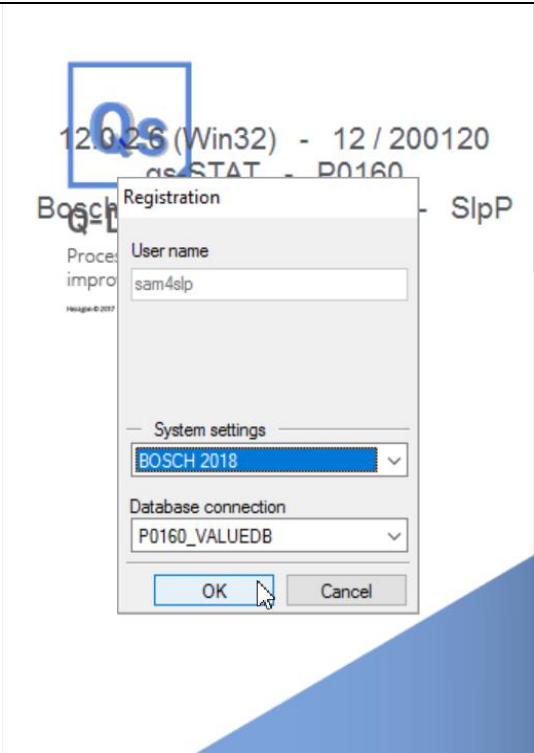
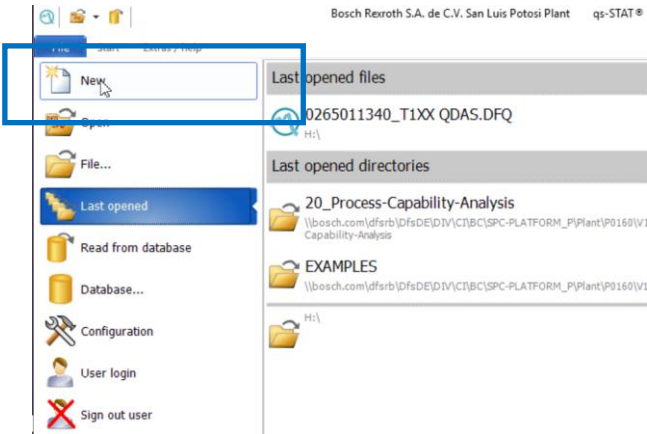
ANEXOS

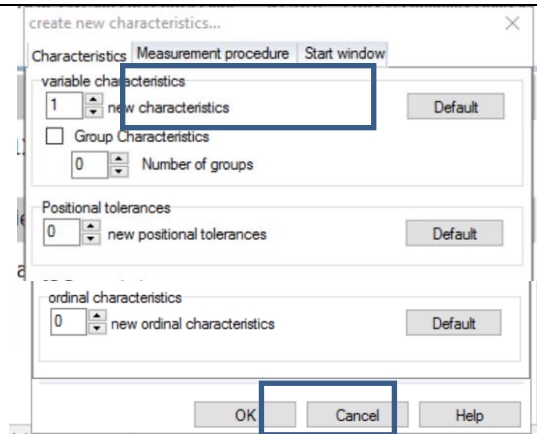
Anexo 1. Instrucción de operación para la creación de las máscaras de datos

Secuencia de trabajo estandarizado

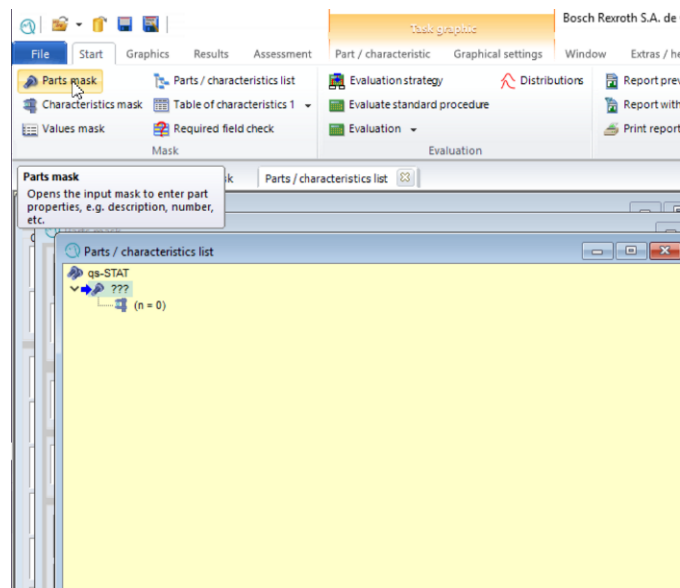


Pasos	Claves Mano Izquierda	Claves Mano Derecha	Razones
(1) Entrar al módulo	- Entrar a la interfaz de CITRIX RECEIVER desde el buscador de Windows.  - Una vez dentro de la interfaz, seleccionar el módulo de qs-STAT  - En la siguiente ventana seleccionar la opción "BOSCH 2018" y dar en "OK"		- Para poder ingresar al programa - Para poder crear la plantilla - Seleccionar la opción correcta

		
(2) Creación de plantilla	4. Dar clic en “New” para crear la plantilla  5. En la siguiente ventana, seleccionar la cantidad de variables que se manejarán en la plantilla, en este caso se tomará como	4. Para creación de plantilla de datos 5. Agregar la variable. 6. Acceder a los campos preliminares. 7. Agregar información preliminar. 8. Agregar las especificaciones de la variable. 9. Registrar las especificaciones de las variables. 10. Guardar la plantilla 11. Y 12. Definir ruta donde se guardará la plantilla.



6. Seleccionar la sección de “Parts mask”

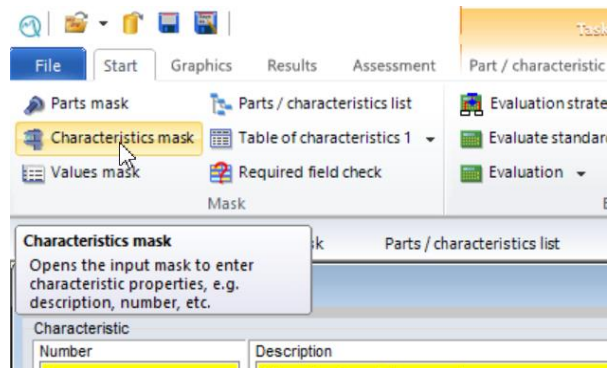


7. Llenar los campos:

- Part number: número de parte en cuestión.
- Part descripción: descripción de la parte.
- Product: producto que se revisará.
- Comment: agregar algún comentario adicional.
- Machine number: número de máquina de donde se toma o se genera la variable.
- Machine description: descripción de la máquina de donde se toma o se genera la variable.
- Plant sector: se puede colocar la MOE donde pertenece la característica.
- Department: se puede colocar la cadena de valor donde pertenece la variable.
- Workshop/sector: se puede colocar la MOE o cadena de valor donde pertenece la variable.

- Test location: número de estación donde se encuentra la variable.
- Fecha: fecha en la que se está generando la plantilla

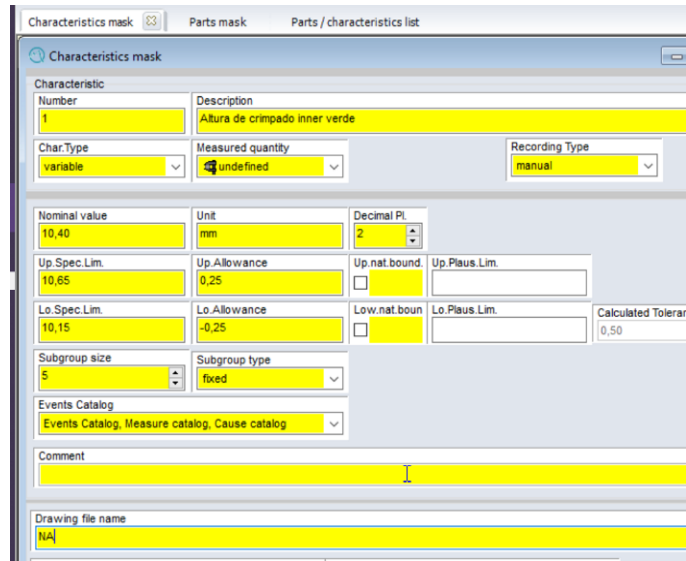
8. Dirigirse a la sección de “características mask”



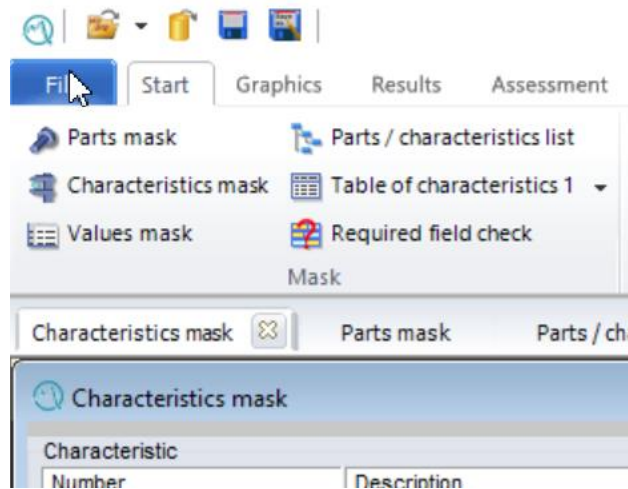
9. Llenar los siguientes campos:

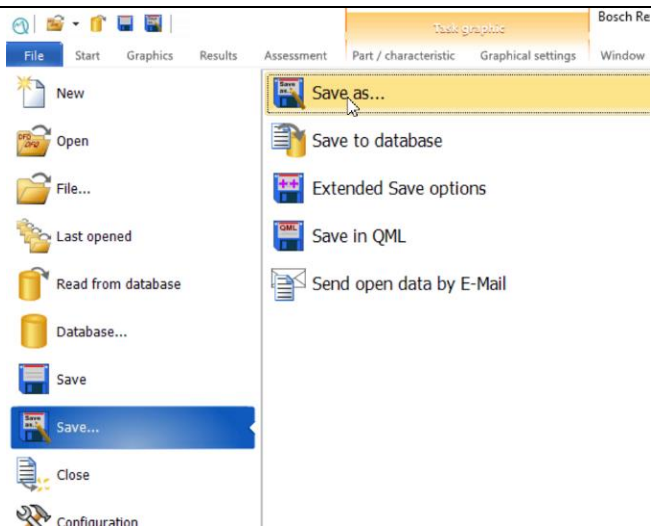
- Number: número de las características a considerar en la plantilla.
- Description: descripción de la característica a considerar en la plantilla.
- Char. type: el tipo de característica que se va a monitorear, en este caso es una variable continua.
- Nominal value: colocar la medida nominal de la característica.
- Unit: colocar la unidad de la característica.
- Decimal Pl: especificar el número de unidades a considerar para la característica.

- Up. Spec. Lim: colocar el límite máximo de especificación.
- Lo. Spec. Lim: colocar el límite mínimo de especificación.
- Subgroup size: colocar el tamaño del subgrupo de datos
- Comment: si hay algún comentario adicional.
- Drawing file name: el nombre del dibujo donde se referencia la característica

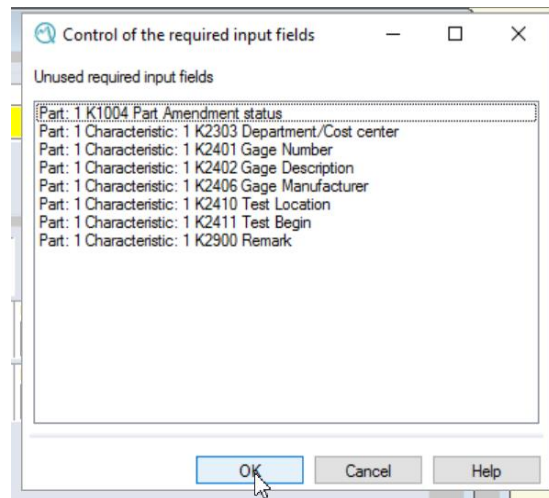


10. Dirigirse a “File”, después a “Save” y “Save as”

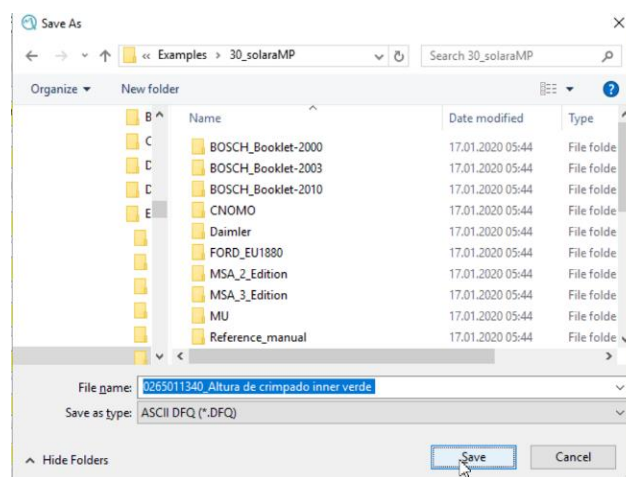




11. Dar click en “OK” en la siguiente ventana



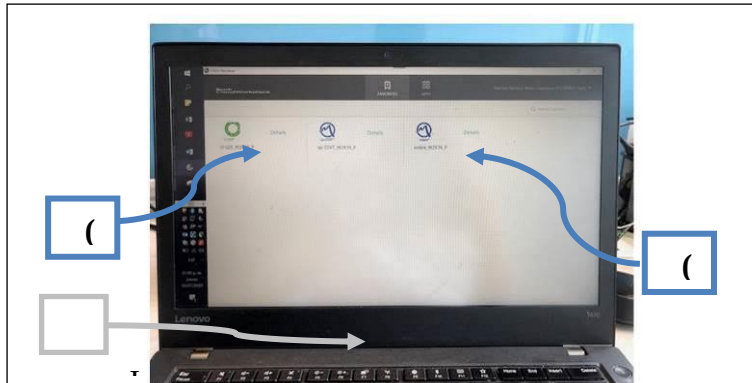
12. Seleccionar la ruta donde se desea guardar la plantilla y dar click en “OK”

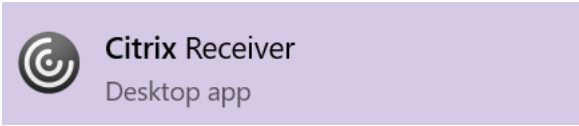
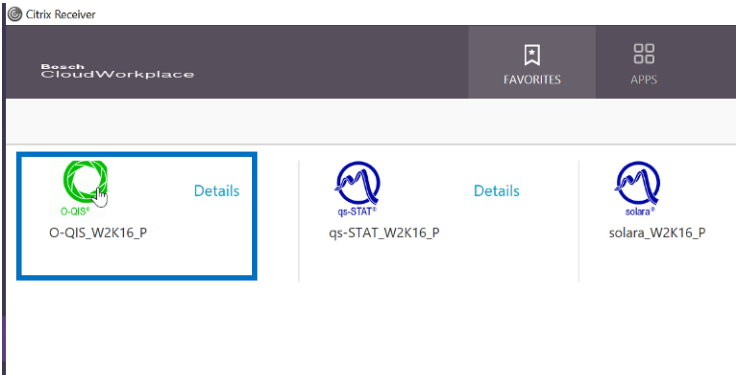


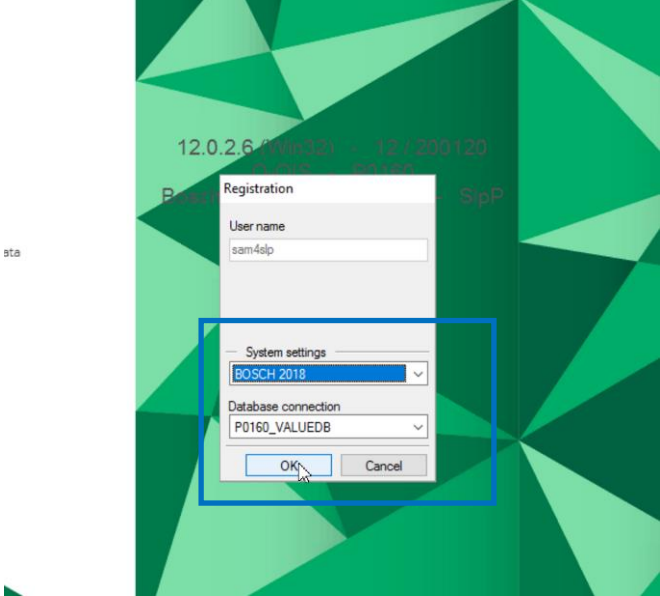
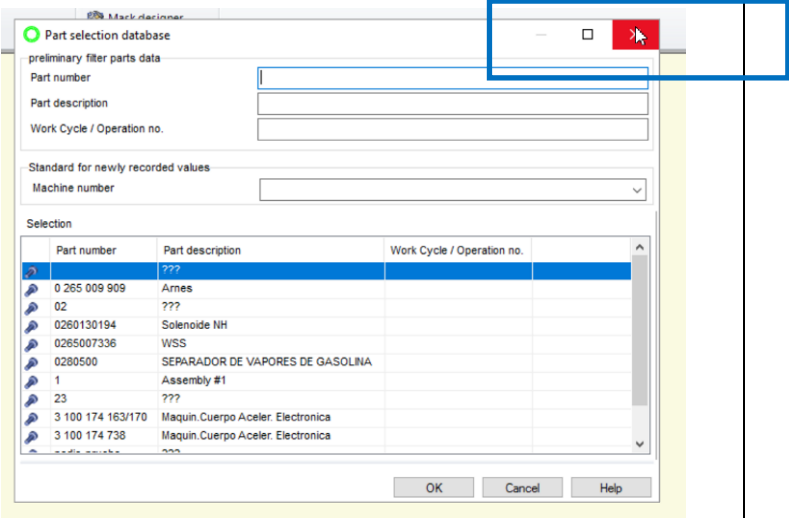
	13. La plantilla se ha guardado. Si se requiere crear más plantillas seguir los pasos del 1 al 12	
--	---	--

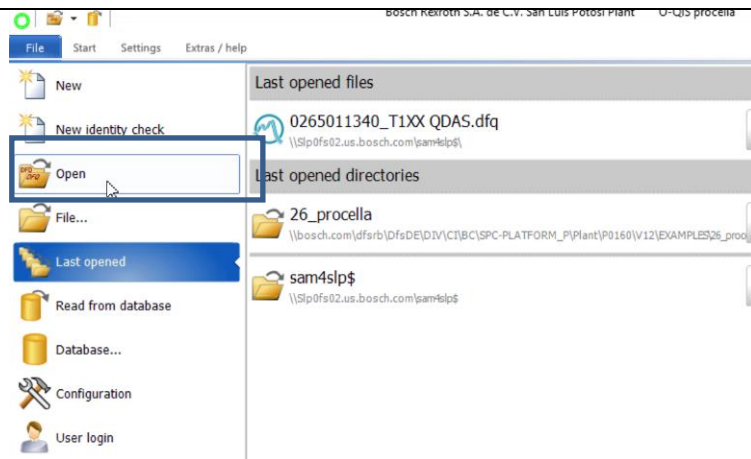
Anexo 2. Instructivo de operación para el llenado de la información en las máscaras de datos

Secuencia de trabajo estandarizado



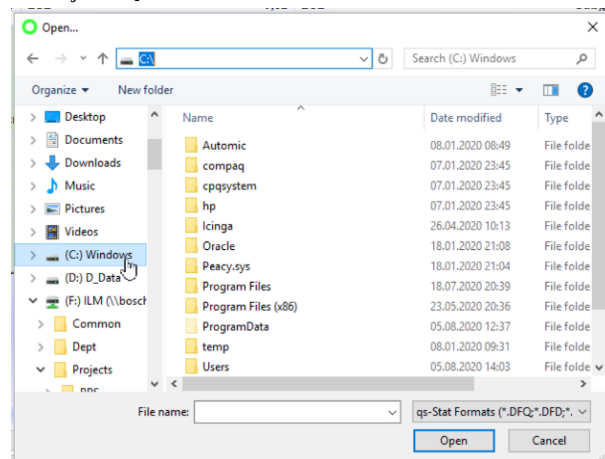
Pasos	Claves Mano Izquierda	Claves Mano Derecha	Razones
(3) Entrar al módulo	4. Entrar a la interfaz de CITRIX RECEIVER desde el buscador de Windows.  5. Una vez dentro de la interface, seleccionar el módulo de O-QIS  6. En la siguiente ventana seleccionar la opción “BOSCH 2018” y dar en “OK”		11. Para poder ingresar al programa 12. Para acceder a la plantilla de gráfica de control 13. Seleccionar la opción correcta

		
(4) Ingresar a la plantilla de la gráfica de control	14. En la siguiente ventana dar click en la “X” para cerrarla  15. Dirigirse a “File” y después a la opción de “Open”	14. Para abrir la plantilla. 15. Ingresa a la plantilla. 16. Para abrir la plantilla correspondiente. 17. Para ingresar datos. 18. Evaluación de las mediciones. 19. Evaluar en la gráfica de control

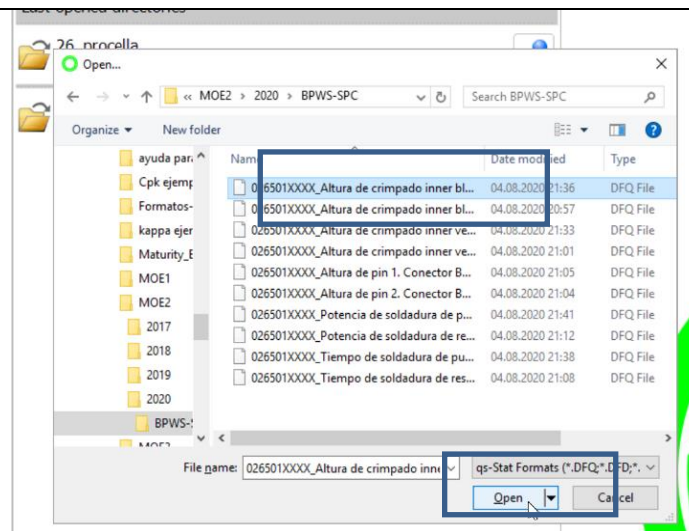


16. Seleccionar la siguiente ruta donde se encuentran las plantillas de las gráficas de control.

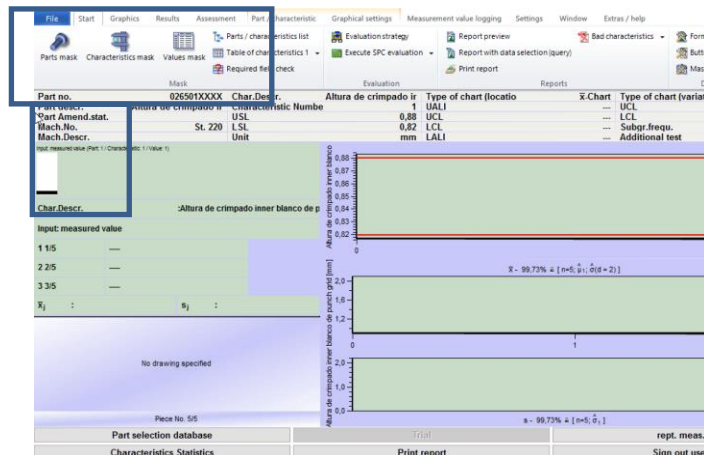
F:\Projects\QMM\SPC-SLP\MOE2\2020\BPWS-SPC



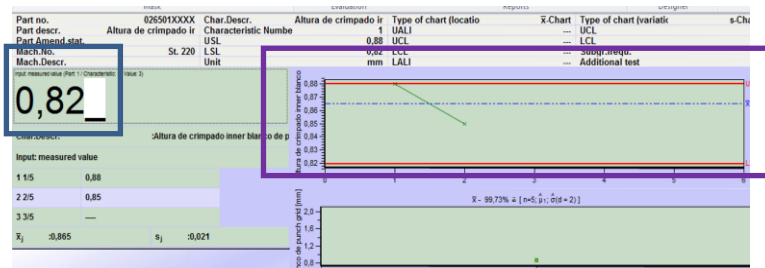
17. Seleccionar la plantilla correspondiente y dar click en “open”

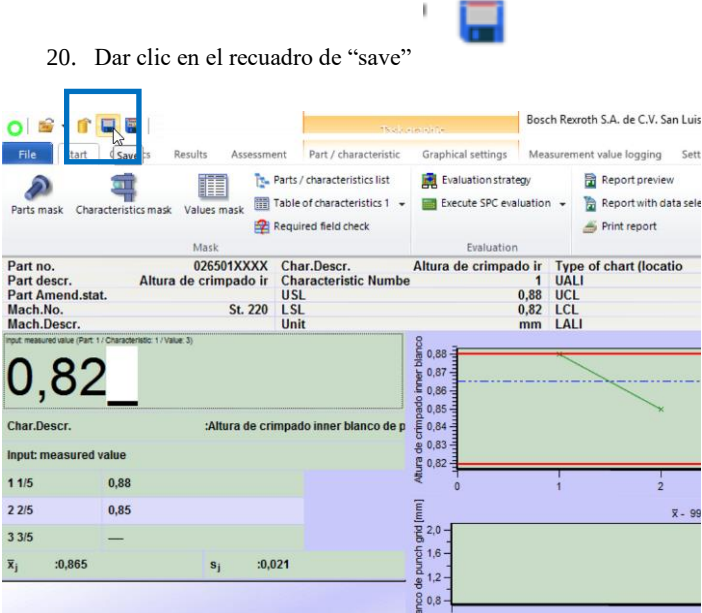


18. Se desplegará la siguiente ventana, donde en la parte superior se observa la descripción de la característica y en el recuadro blanco se deberá colocar la medición recolectada previamente



19. En el recuadro blanco colocar la medición recolectada y dar "enter" para que se registre en la gráfica de control del lado derecho.



(5) Guardar información	20. Dar clic en el recuadro de “save” 	10. Resguardar la información
-------------------------	---	-------------------------------

Información de calidad (conforme al Proceso AMEF)				
Descripción del defecto	Comentario	Origen	Detección (criterio, método y frecuencia)	Reacción
Datos fuera de los límites de especificación	Asegurar que los datos de las mediciones sean las correctas	Datos fuera de especificación	Verificar de acuerdo a la tabla de características a monitorear	Si es correcto; seguir con el proceso. Si no es correcto; alertar a preparador/auditor en turno Seguir <u>PNPI-301.07-SlpP Anexo Paros de línea, planes de reacción/acciones correctivas</u>

Anexo 3. Códigos para el tamaño de muestra

TABLA 12.16 Letras códigos para el tamaño de muestra para MIL STD 414 (muestreo para variables).

NIVELES DE INSPECCIÓN					
TAMAÑO DEL LOTE	I	II	III	IV	V
3 a 8	B	B	B	B	C
9 a 15	B	B	B	B	D
16 a 25	B	B	B	C	E
26 a 40	B	B	B	D	F
41 a 65	B	B	C	E	G
66 a 110	B	B	D	F	H
111 a 180	B	C	E	G	I
181 a 300	B	D	F	H	J
301 a 500	C	E	G	I	K
501 a 800	D	F	H	J	L
801 a 1300	E	G	I	K	L
1301 a 3200	F	H	J	L	M
3201 a 8000	G	I	L	M	N
8001 a 22000	H	J	M	N	O
22001 a 110000	I	K	N	O	P
110001 a 550000	I	K	O	P	Q
550001 y más	I	K	P	Q	Q

Anexo 4. Tabla de inspección normal y severa

TABLA 12.17 Tabla para inspección normal y severa (variabilidad desconocida, método de la desviación estándar), método M.

LETRA CÓDIGO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA	TAMAÑO DE LA MUESTRA	NIVEL DE CALIDAD ACEPTABLE: NCA O AQL (INSPECCIÓN NORMAL)													
		0.04	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.0	15.0
		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
B	3										7.59	18.86	26.94	33.69	40.47
C	4								1.53	5.50	10.92	16.45	22.86	29.45	36.90
D	5							1.33	3.32	5.83	9.80	14.39	20.19	26.56	33.99
E	7					0.422	1.06	2.14	3.55	5.35	8.40	12.20	17.35	23.29	30.50
F	10				0.349	0.716	1.30	2.17	3.26	4.77	7.29	10.54	15.17	20.74	27.57
G	15	0.099	0.099	0.312	0.503	0.818	1.31	2.11	3.05	4.31	6.56	9.46	13.71	18.94	25.61
H	20	0.135	0.135	0.365	0.544	0.846	1.29	2.05	2.95	4.09	6.17	8.92	12.99	18.03	24.53
I	25	0.155	0.156	0.380	0.551	0.877	1.29	2.00	2.86	3.97	5.97	8.63	12.57	17.51	23.97
J	30	0.179	0.179	0.413	0.581	0.879	1.29	1.98	2.83	3.91	5.86	8.47	12.36	17.24	23.58
K	35	0.170	0.170	0.388	0.535	0.847	1.23	1.87	2.68	3.70	5.57	8.10	11.87	16.65	22.91
L	40	0.179	0.179	0.401	0.566	0.873	1.26	1.88	2.71	3.72	5.58	8.09	11.85	16.61	22.86
M	50	0.163	0.163	0.363	0.503	0.789	1.17	1.71	2.49	3.45	5.20	7.61	11.23	15.87	22.00
N	75	1.147	0.147	0.330	0.467	0.720	1.07	1.60	2.29	3.20	4.87	7.15	10.63	15.13	21.11
O	100	0.145	0.145	0.317	0.447	0.689	1.02	1.53	2.20	3.07	4.69	6.91	10.32	14.75	20.66
P	150	0.134	0.134	0.293	0.413	0.638	0.949	1.43	2.05	2.89	4.43	6.57	9.88	14.20	20.02
Q	200	0.135	0.135	0.294	0.414	0.637	0.945	1.42	2.04	2.87	4.40	6.53	9.81	14.12	19.92
		.065	0.10	.15	.25	.40	.65	1.00	1.50	2.50	4.00	6.50	10.00	15.00	
Niveles de calidad aceptable: NCA o AQL (inspección severa)															

Anexo 5. Ciclo PDCA para el indicador del CDI del área

