

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO - CHILE

**“APLICACIÓN SISTEMÁTICA DE
METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA REDUCIR
CANTIDAD DE NEUMÁTICOS DEFECTUOSOS
POR FALLA EN EMPALME LATERAL
ABIERTO EN FÁBRICA LÍDER DEL
PRODUCTO EN CHILE”**

RODRIGO ANDRÉS VILLALOBOS MARCHANT

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DR. ING. PEDRO SARIEGO PASTÉN.

PROFESOR CORREFERENTE: ING. RENÉ VALDENEGRO OYANEDEL.

AGOSTO 2019

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y en particular a mis padres les doy las gracias por brindar en todo momento el apoyo, las herramientas y los consejos necesarios para poder llevar a cabo este trabajo.

A mis amigos, compañeros de clase y equipo de rugby por ayudar de una manera u otra en generar los aportes para que pudiese desarrollar y potenciar las habilidades que permiten hoy en día llevar a cabo este paso.

A todo el personal docente que entregó los conocimientos de una manera pedagógica.

RESUMEN

El presente trabajo de título se desarrolló en la empresa Goodyear Chile, el que tuvo como propósito la disminución de neumáticos defectuosos, por defecto de empalme lateral abierto, mediante la aplicación sistemática de la teoría Seis Sigma, desarrollando de forma estructurada cuatro de cinco pasos, de la metodología conocida por su sigla en inglés como DMAIC.

Al desarrollar la metodología, se inició la fase definir, investigando las pérdidas históricas por el defecto en la planta, las cuales ascendían a $363 \left[\frac{\text{neumáticos}}{\text{mes}} \right]$ promedio en el período comprendido entre octubre 2017 y marzo 2018, en la División B, encargada de los procesos de construcción, vulcanización y testeo, permitiendo definir el área, máquina y código que generaba mayor contribución a la cantidad total de lateral abierto.

Posteriormente continuó la fase medir, en la cual básicamente se procedió a la recolección de datos y seguimiento de la cantidad de neumáticos defectuosos que se estaban generando en las máquinas constructoras. Se estableció como línea base del proyecto $9,7 \left[\frac{\text{neumáticos}}{\text{día}} \right]$ por cada 10.000 neumáticos vulcanizados, promediado entre construidos y vulcanizados, y se fijó el objetivo de reducir esta pérdida en un 25%, correspondiente a $7,2 \left[\frac{\text{neumáticos}}{\text{día}} \right]$. Se debe entender que, tanto línea base como objetivo del proyecto, dependen de la producción de vulcanización establecida por la planta, que eran $17.500 \left[\frac{\text{neumáticos}}{\text{día}} \right]$, por lo tanto, quedan en 13 y $17 \left[\frac{\text{neumáticos}}{\text{día}} \right]$, objetivo y línea base respectivamente.

En la etapa analizar se realizó el estudio del problema, identificando las causas que generan el fenómeno del lateral abierto, realizando un comité diario con neumáticos defectuosos para saber el comportamiento del problema, se determinó que el estiramiento al momento de aplicar el lateral con que estaba fabricando la máquina, era el principal responsable de la apertura del lateral, factor que al estar por sobre el 5%, no se recomienda seguir fabricando neumáticos para el caso del componente. Para poder seguir indagando dentro del problema descrito, se realizó un Diseño De Experimento (DOE, Design Of Experiment), que tuvo por objetivo determinar la variable de construcción más influyente en el estiramiento de aplicación. Es así que, en ayuda del software Minitab, se logró concluir que la altura de mesa y de multidisco son las más influyentes, y que cuando dichas variables aumentan, estas disminuyen el estiramiento de aplicación.

Al implementar, se realizaron las contramedidas que sanaron la causa raíz del problema, estableciendo las acciones que permiten el desarrollo de la solución. Se midieron los resultados obtenidos, mostrando una disminución de la línea base, siendo un resultado completamente satisfactorio y libre de todo tipo de inversión.

Con la aplicación sistemática de los 4 primeros pasos de la herramienta DMAIC, se logró disminuir de 17 a $9 \left[\frac{\text{neumáticos defectuosos}}{\text{día}} \right]$, lo que equivale a una reducción del 52,9% de la producción defectuosa de lateral abierto, generando un ahorro de $89.680 \left[\frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$.

ABSTRACT

The present work of title was produced in the company Goodyear Chile, which had as its purpose the reduction of defective tires, by default of open lateral splicing, through the systematic application of the Six Sigma theory, structured treatment four of five steps, of the methodology known for its acronym in English as DMAIC.

When developing the methodology, the defining phase began, investigating the historical losses due to the defect in the plant, which amounted to an average of 363 tires per month in the period between October 2017 and March 2018, in Division B, in charge of of the processes of construction, vulcanization and testing, allowing to define the area, machine and code that generated greater contribution to the total amount of open lateral.

Subsequently, the measurement phase continued, in which the data collection and monitoring of the amount of defective tires that were being generated in the construction machines were basically carried out. A baseline of the project was established 9.7 tires per day for every 10,000 vulcanized tires, averaged between built and vulcanized, and set the objective of reducing this loss by 25%, corresponding to 7.2 tires per day. It should be understood that, both baseline and project objective, depend on the vulcanization production established by the plant, which were 17,500 tires per day, therefore, remain at 13 and 17 tires per day, objective and baseline respectively.

In the analysis stage the study of the problem was carried out, identifying the causes that generate the phenomenon of the open side, performing a daily committee with defective tires to know the behavior of the problem, it was determined that the stretching at the time of applying the side with which it was Working the construction machine is the main responsible for the opening of the side, a factor that being above 5%, it is not recommended to continue manufacturing tires for the case of the component. In order to continue investigating within the problem described, an Design of Experiment (DOE) was carried out, which aimed to determine the most influential construction variable in the application stretch. Thus, in aid of the Minitab software, it was concluded that the table and multi-disk height are the most influential, and that when these variables increase, they decrease the application stretch.

When implementing, the countermeasures that healed the root cause of the problem were carried out, establishing the actions that allow the development of the solution. The results obtained were measured, showing a decrease in the baseline, being a completely satisfactory result and free of all types of investment.

With the systematic application of the first 4 steps of the DMAIC tool, it was possible to decrease from 17 to 9 defetuous tires per day, which is equivalent to a 52.9% reduction in defective open-side production, generating a saving of 89,680 USD per year.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	10
1.1 Descripción de la empresa 1 	11
1.2 Organización e información general 2 	12
2. Objetivos y Alcance	16
2.1 Descripción del problema	16
2.2 Alcance del proyecto	16
2.3 Objetivo General.....	16
2.4 Objetivos Específicos.....	16
3. Marco Teórico	17
3.1 Materia Prima 3	17
3.2 Proceso de Fabricación del Neumático [3], [7].....	17
3.3 Componentes del neumático 6	21
3.4 Seis Sigma 4 , 5 , 9 , 10 , 11 , 12 , 13 , 14 	23
3.4 DOE (Design Of Experiment) 8 	40
4. Desarrollo del Proyecto 9 , 15 	43
4.1 Definir	43
4.2 Medir.....	50
4.3 Analizar	54
4.4 Implementar.....	67
5. Conclusiones y Sugerencias	70
6. Bibliografía y Referencias	71
Anexos	72
Anexo A Carta Gantt de las actividades del proyecto.	72
Anexo B Carta de monitoreo KPI.	72
Anexo C Carta resumen detalles neumáticos defectuosos.....	73
Anexo D Procedimiento de replicación para control de parámetros de construcción.	74
Anexo E Modificación en chequeo de liberación máquina constructora.	75
Anexo F Modificación planilla de inspección “Ajuste de cama de polines”.	76
Anexo G Lección de Un Punto (LUP) “Identificación de falla corte de cuchillo irregular”.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Optimización de planta.	13
Figura 2. Organigrama de Goodyear Chile.	14
Figura 3. Organigrama del pilar FI.	14
Figura 4. Proceso de fabricación División A y B.	18
Figura 5. Cadena de fabricación del neumático.	18
Figura 6. Neumático construido.	20
Figura 7. Proceso de solución DMAIC.	26
Figura 8. Componentes etapa definir.	27
Figura 9. Diagrama de Pareto.	28
Figura 10. Ejemplo de Carta Gantt.	30
Figura 11. Componentes etapa medir.	31
Figura 12. Diagrama de flujo de producción de biodiesel.	31
Figura 13. Componentes etapa analizar.	34
Figura 14. Ejemplo diagrama de Ishikawa.	36
Figura 15. Componentes de etapa implementar.	37
Figura 16. Componentes de etapa controlar.	38
Figura 17. Secuencia de la metodología DMAIC.	39
Figura 18. Esquema de trabajo.	43
Figura 19. Carta Gantt del proyecto.	50
Figura 20. Diagrama de flujo del proceso de carga de suministro.	50
Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de construcción.	51
Figura 22. Diagrama de flujo de la aplicación del lateral.	51
Figura 23. Línea base y objetivos de mejora del proyecto.	53
Figura 24. Plataforma de Nivel 2, Defect Data Dump (17150).	54
Figura 25. Carta de monitoreo de enero a marzo 2018.	54
Figura 26. Diagrama de causa-efecto de empalme lateral abierto.	56
Figura 27. Layout de máquina constructora y servidor del lateral.	57
Figura 29. Perspectiva dimétrica del fenómeno.	58
Figura 30. Diagrama explicativo de altura de mesa.	59
Figura 31. Diagrama explicativo de altura de multidisco.	60
Figura 32. Figura explicativa estiramiento de tambor.	60
Figura 33. Lugares y sectores de medición de estiramiento de aplicación.	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre el nivel de sigmas de un proceso y los costos de calidad.	24
Tabla 2. Preguntas para valores significativos.....	32
Tabla 3. 5W1H.	35
Tabla 4. Componentes Diagrama de Causa-efecto o Ishikawa.	36
Tabla 5. Equipo del proyecto.	49
Tabla 6. Verificación del sistema de medición.	52
Tabla 7. Promedio de neumáticos defectuosos por mes.	52
Tabla 8. Herramienta 5W1H aplicada.	56
Tabla 9. Factores y niveles de experimento.....	61
Tabla 10. Resultados experimento grupo 1.	63
Tabla 11. Resultados experimento grupo 2.	64
Tabla 12. Prioridades y niveles de solución.....	67
Tabla 13. Plan de acción.	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Pérdidas operacionales por categoría.....	44
Gráfico 2. Pérdidas operacionales por departamento.....	44
Gráfico 3. Pérdidas operacionales por división.....	45
Gráfico 4. Cantidad de neumáticos defectuosos división B.....	45
Gráfico 5. Cantidad monetaria defectuosa división B.....	45
Gráfico 6. Unidades defectuosas por defecto octubre 2017 – marzo 2018.....	46
Gráfico 7. Unidades defectuosas por defecto octubre 2017 – marzo 2018.....	46
Gráfico 8. Cantidad de neumáticos defectuosos construidos mensual.	47
Gráfico 9. Cantidad de neumáticos defectuosos vulcanizados mensual.	47
Gráfico 10. Cantidad de neumáticos defectuosos por máquina.....	48
Gráfico 11. Cantidad de neumáticos defectuosos por código.....	48
Gráfico 12. Comité de neumáticos defectuosos por empalme lateral abierto.....	55
Gráfico 13. Efectos principales en estiramiento de aplicación, grupo 1.	65
Gráfico 14. Efectos principales en estiramiento de aplicación, grupo 2.	66

Glosario

Seis Sigma: estrategia de mejora continua que reduce la variabilidad de los procesos, iniciada por Motorola en el año 1988 por el ingeniero Bill Smith.

Ciclo Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar (DMAIC): ciclo de mejora continua de la calidad en 5 pasos. Herramienta perteneciente a la teoría Seis Sigma.

Vejiga (Bladder): componente de caucho que permite inflarse para poder generar presión interna en algún componente que solicite aumentar su volumen.

Moldeado (Shaping): proceso de vulcanización en el cual se le otorga la forma al neumático en verde mediante el uso de un molde externo y un bladder interno.

Empalme o Empalmado: unión o enlace de dos o más cosas.

Empalme lateral abierto: falla definida cuando el empalmado del lateral no está correctamente realizado y/o el empalme se abre durante el moldeo.

Multidisco (Multidisk, Multiroll): componente de la máquina constructora en forma de minidiscos, hecho en base de un polímero especial, que permite su expansión en volumen, pero manteniendo su rigidez.

Carrete (Spool): componente con materia prima enrollada que está fabricado de acero, y se utiliza para enrollar material fabricado de tipo cinta, algunas de los tipos de cinta que se enrollan en este tipo de transporte son: banda de rodamiento y cinturón. Su capacidad de almacenamiento llega hasta los 80 metros de largo.

Cassete: enrollador fabricado de acero para cinta, son muy parecidos a los carretes, sin embargo, sus capacidades son mayores y difieren de los elementos a enrollar, en el caso del enrollado del lateral, alcanzan hasta 300 metros de largo y se enrolla cojín, telas y laterales, revestimiento (overlay), además cuentan con los acoples necesarios para poder desenrollar el material de manera automatizada.

Embrague (Clutch): sistema de transmisión de potencia que permite regular al motor que da la salida del material almacenado en NPT.

Tobera: dispositivo que convierte la energía térmica y de presión de un fluido (conocida como entalpía) en energía cinética.

Toma y Deja (Pick and place): conjunto de toberas que trabajan mediante presiones negativas y positivas para tomar y dejar el lateral en el tambor, tal cual su nombre lo dice.

Lado Serie (LS): lado del neumático en el cual se ubican los parámetros físicos y datos de fabricación que permiten identificar el neumático.

Lado No Serie (LNS): lado del neumático el cual presenta ciertos tipos de código para poder ser identificado dentro de planta, un tipo de código anotado en este lado es el código de barras del neumático, código asignado al momento de su construcción.

Indicador Clave de Desempeño (KPI, Key Performance Indicator): indicador numérico que permite dar información relevante respecto a la medida de un problema.

Discos Puntadores (Stitcher): discos ubicados en la zona inferior del servidor del lateral, encargados de sellar los empalmes mediante presión superficial.

Codificador (Encoder): codificador rotatorio, de eje o generador de pulsos, suele ser un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, lo que lo convierte en una clase de transductor.

Cobertura (Chafer): zona ubicada en el lateral que cumple la función de proteger y soportar la pestaña, tiene mayor espesor que la zona del lateral como tal y menor pegajosidad que el mismo, se fabrica con otros compuestos distintos al lateral para obtener dichas propiedades.

Revestimiento (Overlay): cordones de nylon recubiertos en caucho, los cuales se pegan en distintos componentes del neumático para otorgar un empalmado de mejor calidad.

Equipo de Alto Desempeño (EAD): equipo que vela por que su área de trabajo se encuentre en las condiciones óptimas de funcionamiento.

Neumático Defectuoso (Scrap): denominativo interno de la empresa Goodyear, para neumáticos que no pueden ser reparados ni reprocesados.

Neumático en verde: denominativo interno de la empresa Goodyear, para un neumático en condición de construido.

Ciclo Planificar, Hacer, Verificar y Actuar (PHVA): también conocido como ciclo Deming, es una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos.

1. Introducción

El ser humano ha presentado el problema de desplazarse en su entorno desde tiempos remotos, es así como el desarrollo de la rueda se remonta a los orígenes de la ingeniería, siendo esta el primer invento necesario para el transporte del ser humano. Luego de generar distintas mejoras a la rueda, es que se llega a la idea de obtener un material especializado para el contacto entre suelo y vehículo. El neumático es la pieza fundamental que, mediante un arduo proceso de mejoras, permite al vehículo trasladarse, consistiendo en una cobertura conformada principalmente de caucho que contiene aire en su interior soportando las solicitudes del vehículo. Es el encargado de permitir maniobrar el vehículo de manera segura y confiable, manteniendo un rendimiento óptimo para el vehículo.

Para la fabricación del neumático se requiere generar distintos tipos de componentes tales como fibras, telas y cables de acero, los cuales son parte de los componentes que integran el neumático. Dichos componentes son parte de 6 elementos necesarios para fabricar un neumático, los cuales son: cojín, telas, lateral, cinturones, pestañas y banda de rodamiento, generados previamente, para luego ser ensamblados individualmente en la máquina constructora, que mediante el uso de distintos procesos mecánicos logra empalmar dichos elementos. Para la fabricación de un neumático se requiere además de tecnología especializada, equipos de distintas solicitudes, instrumentos de precisión y personal debidamente entrenado.

La máquina utilizada en el proceso de construcción genera el empalme de todos los componentes ya fabricados por separados en lo que se considera como división A. Esta es abastecida mediante carros mecánicos, que son entregados por operarios que contienen carretes, los cuales son posicionados en distintas partes adyacentes a la máquina, para que esta de manera automatizada pueda utilizar los distintos componentes para poder empalmarlos de manera sucesiva. Las constructoras son máquinas de alta tecnología que influyen en el proceso de producción, en la que actualmente Goodyear está produciendo una gran cantidad de neumáticos defectuosos al momento de generar el empalme del lateral, el cual se abre ya sea al momento de ser construido o al vulcanizar.

Por casos como estos, es que las industrias en búsqueda de mejorar sus procesos productivos han creado distintas herramientas para mejorar sus líneas de producción, una de ellas es la metodología Seis Sigma. Dicha herramienta utiliza como base la estadística, para alcanzar niveles producción con tendencia a cero defectos. Dentro de la teoría Seis Sigma, existen diferentes herramientas de mejora continua, las cuales tienen diferentes fines y usos, entre las existentes una de ellas es DMAIC, la cual consiste en 5 pasos: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, método probado para la reducción de defectos y mejoras de un proceso para resolver problemas con causa raíz conocida, pero con solución desconocida. Dentro de dicha herramienta se encuentran los análisis DOE (Design Of Experiment), que permiten diferenciar dentro de un grupo de variables cuáles son las más significativas en una respuesta de estudio. Es así como estas herramientas serán utilizadas para reducir los neumáticos defectuosos por empalme lateral abierto en máquina constructora.

1.1 Descripción de la empresa |1|

En 1898 Frank Seiberling funda The Goodyear Tire and Rubber Company una de las empresas multinacionales más importantes del mundo en la fabricación de neumáticos, produciendo una gamma de distintos productos, desde neumáticos para vehículos en general, hasta neumáticos de maquinaria pesada para construcción, minería y forestal. El nombre de la empresa se debe al homenaje a Charles Goodyear, descubridor del proceso de vulcanización del caucho, el cual se remonta a inicios del año 1839. Charles Goodyear, arrojó un pedazo de caucho mezclado con azufre de su casa en Woburn, Massachusetts, el cual se carbonizó como si hubiese sido un pedazo de cuero. El calor y el azufre hicieron que la mezcla cambiara las propiedades del caucho, dando respuesta al problema de cómo hacer que el producto fuera enteramente adaptable y consistente. El nombre que se dio al proceso desarrollado por Goodyear fue el de “Vulcanización” en honor a Vulcano, el dios romano del fuego. Charles Goodyear murió en 1860, 21 años después de su descubrimiento.

1.1.1 Goodyear|2|

La multinacional posee sucursales en distintos países y continentes. En Europa posee 17 plantas de producción, las cuales se reparten en los siguientes países:

- Bélgica, Francia, Alemania, Luxemburgo, Países bajos, Polonia, Eslovenia y Reino Unido.

1.1.2 En América Latina|2|

Posee 7 plantas de producción con distintas especificaciones de neumáticos, más específicamente en:

- Brasil, Venezuela, Perú, Colombia y Chile

1.1.3 En Chile |1|

La empresa nace en el país debido a la alta demanda en la Industria Nacional de Neumáticos (INSA), la que comenzó a operar desde el 14 de junio de 1941. En los años setenta el país se vio envuelto en ciertas agitaciones de tipo políticas, que desencadenaron cambios en la industria chilena, dejando el control de INSA a cargo de CORFO, la que mantuvo la operación de la empresa hasta el año 1978, dejando finalmente el control de la planta a The Goodyear Tire & Rubber Company.

La compañía de neumáticos introduce en Chile los primeros neumáticos radiales y efectúa diversos ajustes en la capacidad productiva y en los procesos, realizando distintas modificaciones en el sistema de administración.

La planta de producción de Goodyear Chile mantiene su liderazgo en el mercado chileno, siendo uno de los principales productores de neumáticos en Chile, debido a un buen manejo en la comercialización y distribución, con presencia en Chile de más de 100 Servitecas (MR) y Flotacentros (MR) en distintos puntos a lo largo del país.

La planta de Goodyear Chile posee las certificaciones de Calidad ISO 9.001, de proveedor de equipo original para la industria automotriz, ISO/TS 16.949, de Seguridad OSHAS 18.001 y de Medio Ambiente ISO 14.001.

1.2 Organización e información general |2|

Goodyear Chile, en el año 2015 implementó el sistema de optimización de planta, plan comprado y asesorado por Milliken, empresa que innovó en este sistema de optimización. Dicho sistema aumenta la productividad, calidad y eficiencia.

El sistema se basa en un fundamento de la seguridad y la claridad estratégica para involucrar a todos los involucrados en la resolución de un problema de manera inflexible de cero incidentes y crear una alineación entre las operaciones y los negocios. El sistema lo conforman nueve pilares fundamentales, los cuales se detallan a continuación:

1. Organización del lugar de trabajo (WPO, Work Place Organization)

Es la organización y mantención del orden en el lugar de trabajo, que permite mejorar la eficiencia y seguridad, reduciendo los desperdicios, aumentando el orden y eliminando las labores que no generan valor. El pilar establece la disciplina 5S (separar, situar, suprimir, señalizar y seguir), y el compromiso de todos los trabajadores de la organización.

2. Cuidado diario de los equipos (DEC, Daily Equipment Care)

Entrega las habilidades y conocimientos necesarios a los operadores para prevenir averías y fallas, aumentando la calidad del producto debido al desgaste y las irregularidades del equipo. DEC mejora la fiabilidad, paradas menores, averías y el tiempo de cambio.

3. Desarrollo continuo de habilidades (CSD, Continuous Skills Development)

Se enfoca en la capacitación estandarizada para aumentar el nivel de habilidades de los asociados, mejorando la satisfacción en el trabajo, realizando las labores de forma más eficiente, disminuyendo las variaciones en el proceso.

4. Excelencia en confiabilidad (RE, Reliability Excellence)

Sistema de mantenimiento sistemático para reducir averías aumentando la calidad con que se realiza el proceso de producción.

5. Proceso de calidad (QP, Quality Process)

Pretende lograr cero defectos en calidad, buscando, identificando y eliminando la causa raíz que produce el desperfecto.

6. Flujo de producción (PF, Production Flow)

Tiene como objetivo el control de la producción, para reducir el costo total del proceso, mediante la eliminación de los residuos del sistema y la alineación de la oferta de negocio con la ejecución de la fabricación. Control de la producción mejora el capital de trabajo e inventario, costos de conversión variable, utilización de la capacidad, entre otros.

7. Gestión anticipada de equipos (EEM, Early Equipment Management)

Gestión temprana de instrumentos, se centra en la mejora de fiabilidad y estabilidad de las pérdidas relacionadas con la puesta en marcha de equipos antes de que ocurran. Utilizando los operadores, se obtienen datos de medición.

8. Industrialización de productos nuevos (NPI, New Product Industrialization)

Tiene como principal labor el desarrollo de nuevos productos con una que pasen las pruebas establecidas tanto por la compañía, como por los clientes, además vela por fabricar nuevos productos que satisfagan los requisitos del cliente y cumplen con las normas establecidas.

9. Mejora Enfocada (FI, Focus Improvement)

Pilar enfocado en la mejora continua del proceso, implementa proyectos que mejoran el proceso (DMAIC), reducen averías y fallas, generando ahorros sustanciales para la empresa.

A continuación, se muestra una figura resumen que presenta los 9 pilares descritos anteriormente:



Figura 1. Optimización de planta.

Fuente: Material Goodyear.

1.2.1 Organigrama de la planta

El organigrama de la planta de Goodyear Chile se basa bajo la filosofía de optimización de planta. A continuación, en la figura 2, se presenta la estructura organizacional de la planta de producción del año 2018.

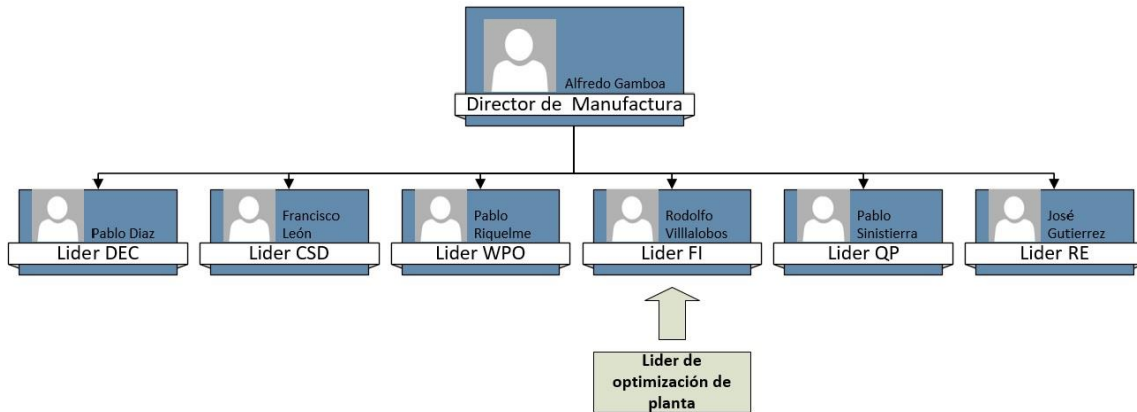


Figura 2. Organigrama de Goodyear Chile.

Fuente: Elaborada por el autor.

El proyecto por desarrollar viene del pilar de optimización (FI), el cual presta soporte a estos, realizados dentro de planta.

1.2.2 Organigrama del Pilar de mejora focalizada (FI)

La organización del pilar FI se presenta la siguiente estructura organizacional:

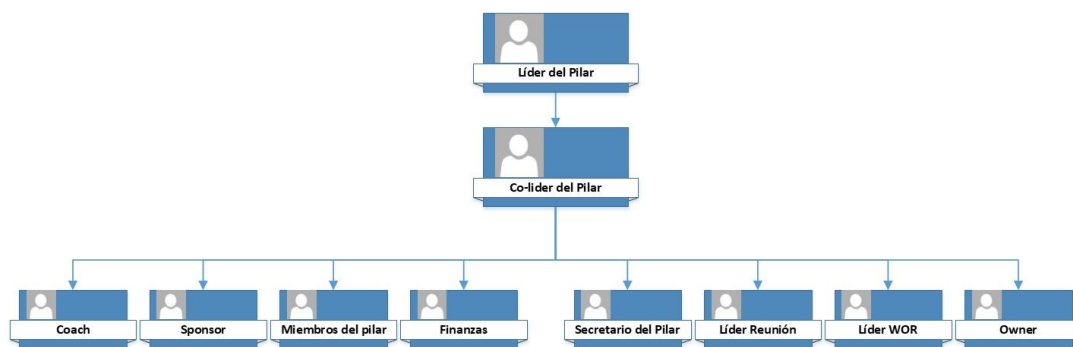


Figura 3. Organigrama del pilar FI.

Fuente: Elaborada por el autor.

- **Líder del pilar:** persona que encabeza y dirige al equipo.
- **Colíder del pilar:** encabeza el pilar cuando el líder se encuentra ausente.
- **Coach:** velan por que se cumpla la metodología.
- **Finanzas:** se encarga del financiamiento del pilar.
- **Miembros del pilar:** presentan apoyo al pilar y a los proyectos, permitiendo su desarrollo.

- **Patrocinador:** se encargan de patrocinar los proyectos el cual apoya o financia.
- **Secretario del pilar:** anota y revisa las actas de las reuniones.
- **Líder de reunión:** regula el normal flujo de la reunión.
- **Líder WOR:** realiza el reporte semanal de los proyectos

1.2.3 Lista de proyectos DMAIC del pilar FI:

- Reducción de neumáticos defectuosos por falla de empalme lateral abierto.

Descripción: proyecto que tiene el fin de disminuir la cantidad de neumáticos defectuosos en el área de construcción, en la máquina constructora debido a que el empalme del lateral entre el hombro y la pestaña no está correctamente realizado y/o el empalme se abre durante el moldeado en el proceso de vulcanización.

- Reducción de agrupamiento de revestimiento.
- Reducción de neumáticos defectuosos por empalme de primera tela abierta.
- Reducción de neumáticos defectuosos por falla de prensa.

2. Objetivos y Alcance

2.1 Descripción del problema

El proceso de construcción del neumático es el que junta, mediante empalmes, de todos los componentes previamente extruidos. Las máquinas encargadas de realizar dicha tarea son las “constructoras”. Análisis previos han logrado determinar que los neumáticos defectuosos están siendo generados al momento de generar el empalme del lateral entre el hombro y la pestaña. Actualmente la División B, encargada de construir y vulcanizar, se encuentra generando gran cantidad de neumáticos defectuosos, con elevadas pérdidas.

2.2 Alcance del proyecto

El proyecto se realizará en el área de construcción con el fin de disminuir la cantidad de neumáticos defectuosos que se están produciendo. Para lograrlo, se utilizará la metodología Seis Sigma empleando las primeras 4 etapas de la herramienta para la mejora en la calidad de procesos llamada DMAIC. Para el éxito del proyecto se trabajará con un equipo multidisciplinario que además deberá contar con el apoyo del área de construcción, tanto de operadores como de sus respectivas jefaturas, que debido a un establecido programa de optimización requieren de la solución de este problema.

2.3 Objetivo General

Se propone un plan de mejora de calidad en el proceso de manufactura de los neumáticos en la planta de Goodyear de Chile S.A.I.C, con el fin de reducir las pérdidas de planta por falla en empalme lateral abierto.

2.4 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico del indicador clave, de la situación actual, para cada una de las máquinas que permiten el proceso de construcción de la línea de fabricación de planta, que incluya la descripción del proceso y la caracterización de las máquinas en base a datos históricos.
- Definir los alcances y resultados esperados del proyecto, determinando la promesa de mejora en la reducción de pérdidas en la planta.
- Desarrollar una propuesta de un plan de mejora del proceso de construcción y su incidencia en el proceso de interés.
- Desarrollar el plan siguiendo los criterios del ciclo de calidad PHVA.

3. Marco Teórico

3.1 Materia Prima [3]

El neumático es un producto, que requiere de mucha tecnología e ingeniería, el cual utiliza varios elementos que le dan la estabilidad necesaria para poder soportar cargas de distintos tipos y tener la flexibilidad suficiente para resistir las continuas deformaciones a la que es sometido, debe ser lo suficientemente fuerte para resistir los distintos agentes dañinos a los que es sometido. Algunos de estos agentes son: grasas, aceites, oxígeno, luz solar y materiales cortantes.

Los materiales que componen la goma son:

- **Caucho natural:** material que permite la disipación del calor generado por el roce con el suelo al medio ambiente, para que este no se quemara al momento de usarlo.
- **Caucho sintético:** componente que representa el 60% del caucho utilizado. Aporta histéresis a la mezcla y otras propiedades específicas, disminuye el desgaste y la resistencia al rodamiento.
- **Negro de humo:** ingrediente de la composición que, al generarse la mezcla con la goma, el neumático se torna más resistente al desgaste, además lo protege de la radiación ultravioleta, añade consistencia y dureza.
- **Azufre:** material que cumple el propósito de ablandar el neumático mediante el proceso de vulcanización, para que así soporte los esfuerzos a los cuales va a ser sometido, pero manteniéndose blando para poder estirarse y volver a la posición original.
- **Cementos y pinturas:** se utilizan en el proceso de construcción y acabado del neumático.
- **Fibras de Rayón y Acero:** ingrediente que permite fortalecer la estructura del neumático al entrar en contacto con la llanta.
- **Antioxidantes:** material que se añade para los efectos dañinos de la luz solar (ultravioleta) y del ozono, para aumentar la durabilidad.
- **Aceites y grasas:** Para hacer más maleable la mezcla y para ayudar en el mezclado de todos los ingredientes.

3.2 Proceso de Fabricación del Neumático [3], [7]

El proceso de producción del neumático se divide en dos Divisiones, A y B tal como se muestra en la figura 4. La División A se divide en las áreas de producción de Materia prima, Mezclado, Preparatoria (Steelastec y Calandras), Conformado (Apexer y pestañas) y Extrusión, mientras que la División B se compone de Construcción, Vulcanización y Final Finish (Inspección final).

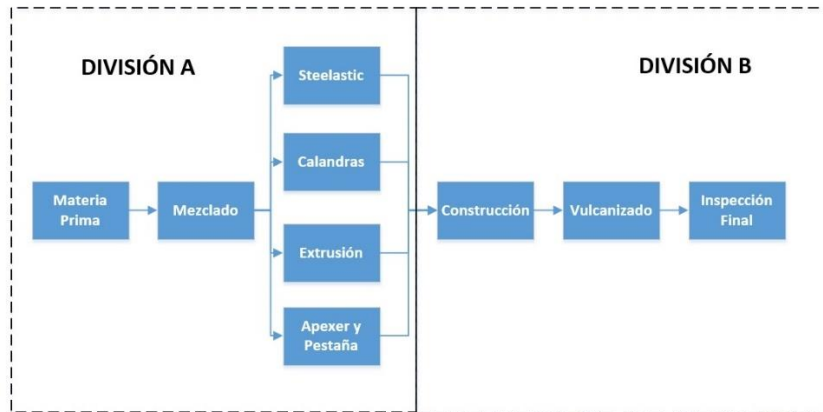


Figura 4. Proceso de fabricación División A y B.

Fuente: Elaborada por el autor.

El proceso de producción inicia en la recepción de las materias primas (ver figura 4 y 5), donde estas son clasificadas, para luego ser mezcladas en la zona de mezclado (banbury), lugar donde la goma es distribuida a las distintas zonas de trabajo denominadas Calandra Gam, Calandra Z, Steelastics, Apexer y Extrusión. Las máquinas descritas anteriormente, generan las gomas manufacturadas por extrusión y cortado, las cuales son transportadas, de manera mecánica o automatizada, dependiendo del tipo de goma, para finalmente ser ensambladas mediante empalmes de presión en las constructoras (máquinas HF), formando el neumático en verde, que posteriormente es transportado, mediante el uso de correas transportadoras, pasa a la máquina distribuidora automatizada de inventario (ASRS), la cual segrega por las solicitudes de producción, los neumáticos a vulcanización. Finalmente, el neumático ya vulcanizado, luego de varias inspecciones, pasa a Final Finish (Inspección Final) en donde se les realiza las inspecciones y pruebas necesarias (balanceadoras y medidoras de fuerzas), para que sea liberado al mercado, para luego ser almacenado en bodegas y ser despachado al cliente.

A continuación, en la figura 5 se resumen el proceso descrito anteriormente:

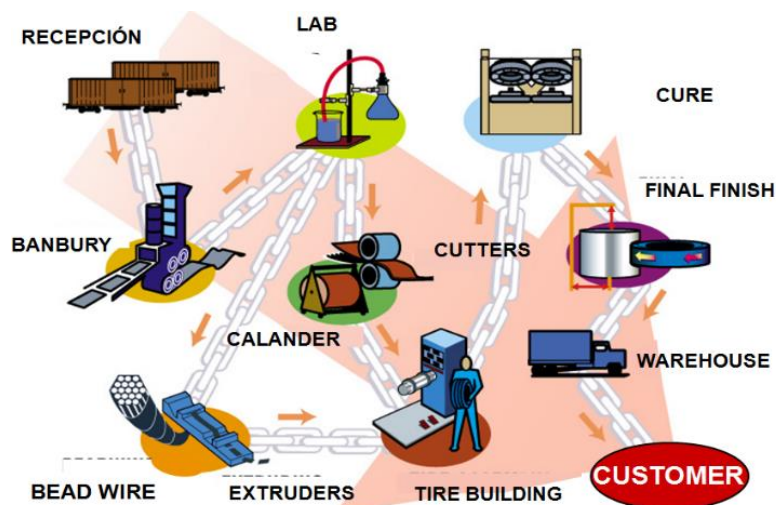


Figura 5. Cadena de fabricación del neumático.

Fuente: Material Goodyear.

3.2.1 Mezclado

El mezclador conocido como banbury (que es la marca de la máquina) consta de 3 pisos, en donde el proceso inicia en el tercero, allí es donde los ingredientes son pesados he incorporado en bolsas plásticas con las proporciones adecuadas según el tipo de goma que se fabricará, enviándolos al segundo piso zona que inicia el mezclado, el caucho se corta en cubos y se le incorporan las distintas sustancias para que la goma adquiriera las propiedades adecuadas para enfrentar los agentes agresivos a la que será sometida, el banbury es una máquina que en su interior tiene dos rodillos en forma de espiral que mezcla todos los ingredientes incorporados. Una vez realizada la mezcla, se deja caer a un molino que se encuentra en el primer piso, luego el laminador extrae en forma continua el compuesto ya bien mezclado y homogenizado que, después de ser lubricado y enfriado por una línea de enfriamiento, es almacenado sobre plataformas para así ser transportado a las máquinas en las cuales será utilizado. Al llegar a este punto de la operación, se sacan muestras de cada lote para ser examinadas en el laboratorio.

3.2.2 Steelastic

Los cinturones son tejidos de cables de acero recubiertos de caucho y dispuestos en torno al neumático. Estas lonas proporcionan rigidez y refuerzan la solidez del neumático. Con el fin de proporcionar una mayor durabilidad y mejorar la resistencia a pinchazos. En este proceso se le aplica goma una serie de cuerdas de acero, la calidad del cordón de alambres de acero se basa en su resistencia a la tracción, elongación y rigidez. Se fabrica a partir de una varilla de acero con alto contenido de carbono; y mientras que los alambres de acero utilizados poseen diferentes configuraciones, todos son tramos revestidos en latón que se retuercen juntos hasta formar los cordones. Ya que el alambre se encuentra revestido en latón, las condiciones de almacenamiento son importantes para mantener las propiedades de unión del alambre de acero al caucho. Por esta razón, los cordones de acero también se mantienen en un ambiente con control de temperatura y humedad una vez que se reciben en la fábrica.

3.2.3 Calandradora Z

El esqueleto de los neumáticos se compone de capas de material textil denominadas lonas. Las lonas reducen la elasticidad del neumático al tiempo que garantizan su flexibilidad. Normalmente, están fabricadas con cables de fibras tejidas recubiertos de caucho. El neumático se refuerza mediante una capa denominada lona de carcasa y que se coloca justo encima de su revestimiento interior.

La tela es recubierta con goma, su calidad del cordón se basa en su resistencia, elongación, contracción y elasticidad. La tensión del hilo es fundamental para calandrar los cordones de tela junto con el compuesto de caucho.

3.2.4 Calandradora Gum

El cojín es la capa más interna del neumático. Ya que es una capa delgada, también se fabrica utilizando la calandra. El control mediante manómetro y el acabado superficial sin defectos son críticos para retener la presión del aire. Se corta previamente la longitud apropiada de lámina de revestimiento interno para que esté lista para su uso en el proceso de fabricación del neumático.

3.2.5 Extrusión

Los componentes de los neumáticos, tales como la banda de rodamiento y los laterales se preparan mediante el forzado del compuesto de caucho sin curar a través de un extrusor para darle forma a los perfiles de la banda de rodamiento o los laterales del neumático. La extrusión es una de las operaciones más importantes en todo el proceso de fabricación de neumáticos ya que procesa la mayoría de los compuestos de caucho producidos desde la operación de mezclado y luego prepara diversos componentes para la operación final de ensamblado del neumático.

La extrusión es un proceso de fabricación de neumáticos es un sistema del tipo tornillo que consiste principalmente en un cilindro extrusor y un cabezal extrusor. Primero, el compuesto de caucho se alimenta dentro del cilindro extrusor donde se somete a un proceso de calentamiento, mezclado y presurización. Luego, el compuesto de caucho fluye al cabezal del extrusor donde se conforma bajo presión

3.2.6 Construcción

Los neumáticos son construidos de adentro hacia afuera. Primero se comienza con el cojín que asegura la retención de aire en el interior del neumático, consecutivamente se colocan las telas, laterales y pestañas.

La máquina realiza un preformado del neumático dándole una forma cercana a la final, se asegura que todos los elementos estén en la posición correcta y la máquina comienza a agregar el cinturón, que resisten pinchaduras y sostienen fuertemente a la banda de rodamiento contra el piso. Finalmente, rodillos automáticos presionan todas las partes firmemente, el neumático radial ahora es llamado “neumático verde” y está listo para inspección en verde y vulcanización.

A continuación, se muestra un neumático construido para su comprensión visual:



Figura 6. Neumático construido.

Fuente: Elaborada por el autor.

3.2.7 Vulcanización

En esta fase el neumático en verde obtiene su forma final. Los moldes calientes se encuentran grabados con el modelo de pisada del neumático y todas las marcas necesarias, la máquina comprime todas las partes del neumático contra el molde y adquiere su forma final.

3.2.8 Inspección Final

El neumático es sometido a una serie de inspecciones tanto visuales como manuales en donde sí se encuentra algo fuera de las especificaciones preestablecidas el neumático es rechazado. También se realizan inspecciones y correcciones con máquinas especializadas de uniformidad.

3.3 Componentes del neumático |6|

3.3.1 Banda de Rodamiento

Es el componente que permite el contacto entre la rueda y el suelo, se divide en 2 elementos, el hombro de la banda de rodamiento y la base de esta. Ya que existen por lo menos tres compuestos diferentes de caucho usados para formar este perfil completo de la banda de rodamiento, el sistema extrusor consiste en tres diferentes extrusores que comparte un cabezal extrusor. Los tres compuestos de caucho se extruyen simultáneamente desde diferentes máquinas, y luego se fusionan en un cabezal extrusor compartido, luego pasa a través de una línea de enfriamiento para controlar y estabilizar las dimensiones.

- Materiales
 - Goma extremadamente resistente
- Función
 - Proveer tracción
 - Baja resistencia de rodado
 - Resistente al desgaste
 - Resistente a cortes
 - Resistente al calor
 - Absorbe irregularidades del camino

3.3.2 Lateral – Costado

Este componente es el que junta todos los componentes que van por el centro del neumático con la pestaña, soportante las exigencias mecánicas que necesita el neumático para un correcto funcionamiento. Este se extruye de una forma similar al componente de la banda de rodamiento del neumático, sin embargo, su estructura y el compuesto utilizados son diferentes al de la banda de rodamiento. Existen algunas variaciones del producto, como lo es el lateral blanco o con letras blancas, los cuales van a necesitar la participación de otras máquinas.

- Materiales
 - Caucho flexible resistente a condiciones climáticas
- Función
 - Protege la construcción interna
 - Soporte del borde de correas
 - Superficie para estampado y decoración requeridas

3.3.3 Revestimiento

Componente del neumático que se hace mediante cordones de nylon recubiertos en caucho, los cuales se pegan en distintos componentes del neumático, para otorgar un empalmado de mejor calidad y asegurar que los componentes otorguen las propiedades mecánicas.

- Materiales
 - Cordones de nylon
 - Lámina ancha simple o banda angosta de espiral
 - Los cordones corren circunferencialmente alrededor del neumático
- Función
 - Mejorar el rendimiento a altas velocidades
 - Estabilizar el paquete de correas

3.3.4 Cinturones - Cintas

Es el encargado de que los esfuerzos que recibe el neumático al momento del uso sean equilibrados. Se hacen a partir de cordones de acero recubiertos en caucho, y se cortan con ángulo calibrado luego de haber sido generada la cinta. Estos se hacen en máquinas separadas con ángulos exactamente iguales, pero en distintas direcciones, para después ser ensamblados de manera conjunta y formar el breaker.

- Materiales
 - Cordones de acero múltiples
 - Dos capas en ángulos opuestos
- Función
 - Estabilizar y portar correas
 - Rigidez lateral circunferencial para viajes, aceleración y frenado
 - Resistencia a la penetración

3.3.5 Telas – Pliegos

Son las encargadas soportar los esfuerzos radiales del neumático. Los neumáticos pueden tener 1 o más telas dependiendo del peso que soporte este, los neumáticos con una tela son para vehículos de pasajeros de bajo peso, los neumáticos con dos telas son para camionetas, vehículos SUV y algunos camiones, los con tres telas generalmente, se utilizan en el ámbito minero, forestal y de construcción, debido a las cargas que deben soportar estos.

- Materiales
 - Cordones de polyester
 - 1 o 2 capas
 - Cordones corren radialmente alrededor del neumático
- Función
 - Componente estructural
 - Mantiene el tamaño y la forma
 - Fortalece al lateral
 - Transfiere fuerzas desde la banda a la pestaña y llanta

3.3.6 Cojín

Componente que se encuentra al centro de la rueda, el cual permite el acople entre el neumático y la llanta, es un material que amortigua las cargas radiales pero que a la vez es muy elástico para conservar la estructura del neumático.

- Materiales
 - Caucho impermeable al aire
- Función
 - Retención de aire

3.3.7 Pestañas – Talones

Es un anillo no extensible que ancla las capas del cuerpo y asegura el neumático a la llanta de modo de que no se deslice o dañe el aro. Incluye el anillo de alambre de acero, el material de relleno, el revestimiento o “Chafer” que protege los componentes de la pestaña formada por alambres, el revestimiento o “Chipper” que protege la cara inferior y el revestimiento o “Flipper” que ayuda a mantener la pestaña en su lugar. El anillo de alambre para la pestaña se conforma de un alambre de acero cubierto por caucho y arrollado en diversos anillos continuos. El material del relleno de la pestaña se conforma de un compuesto muy duro de caucho que se extruye a fin de formar una cuña.

La precisión de la circunferencia de la ceja es crítica. Si es demasiado pequeña, el montaje del neumático puede ser un problema, si es demasiado grande, el neumático podría salirse del aro con demasiada facilidad en situaciones de grandes cargas o fuertes virajes. Luego de verificar la circunferencia, la pestaña está lista para la operación de ensamblado del neumático.

- Materiales
 - Múltiples cables de acero unidos, recubiertos en caucho
- Función
 - Anclar telas y carcasas a la llanta
 - Ayuda a sellar cámara de aire

3.4 Seis Sigma [4], [5], [9], [10], [11], [12], [13], [14]

Seis Sigma es una metodología que utiliza como base el análisis estadístico para mejorar los procesos, reducción de tiempos y mejorar la calidad de los productos, aumentando la satisfacción de los clientes. Es una metodología que ayuda a reducir la variabilidad del proceso eliminando los defectos o fallas que se producen en el desarrollo de la producción, su filosofía es la mejora continua del proceso y la reducción de la variabilidad en la búsqueda del cero defecto. Fue iniciada por el ingeniero Bill Smith, quien comenzó a estudiar la reducción de la variabilidad de los procesos para poder reducir los costos de producción y mejorarlos.

Según la publicación del libro Pande & Holp, 2002, se define como:

“Una herramienta que articula el uso de diferentes técnicas propias de la gestión de calidad, el control estadístico y el diseño de experimentos que, combinadas con la medición del desempeño de procesos, permite centrarse en mejoras focalizadas o de toda la organización; de esta manera se puede impactar en la reducción de costos de operación y aumentar la rentabilidad. Seis Sigma no solo puede ser considerada como un proyecto de mejora, sino

también como una metodología que contribuye al desarrollo de metodologías basadas en la planificación, y enfocadas en la obtención de resultados en los procesos de producción y servicios” (página 81).

Por otra parte, Seis Sigma (Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2000) la define como:

“Estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello, es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio. En todo momento se toma como punto de referencia a los clientes y sus necesidades. La estrategia apoyada en una metodología fundamentada en las herramientas y el pensamiento estadístico. Asimismo, tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos” (página 420).

Para que una empresa sea competitiva debe estar constantemente mejorando sus líneas y sistemas de producción, rediseñando sus procedimientos, reestructurando y actualización o modificando tecnologías. Las empresas para optimizar sus procesos utilizan distintas metodologías para mejorar la calidad de sus productos y disminuir los costos de producción, entre las distintas metodologías existentes una de ellas es Seis Sigma, que ayuda a la disminución de la merma y las variaciones en el proceso de producción, la que utiliza una herramienta estructurada en la reducción del número de fallas y costos llamada DMAIC.

La eficiencia del proceso se puede clasificar según su nivel sigma, lo que representa el rendimiento del proceso y la cantidad de defecto por millón de oportunidades que se generan en proceso de fabricación del producto.

Tabla 1. Relación entre el nivel de sigmas de un proceso y los costos de calidad.

Fuente: Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma.

Nivel de Sigmas (corto plazo)	Rendimiento del Proceso (Largo Plazo) [%]	Partes Por Millón	Costos de Calidad como Porcentaje de las Ventas [%]
1	30,90	690.000	NA
2	69,20	308.000	NA
3	93,30	66.800	25-40
4	99,40	6.210	15-25
5	99,98	320	5-15
6	99,9997	1,5	<5

Es inversamente proporcional al nivel, el número de defectos por cada millón de oportunidades y los costos asociados a la calidad como un porcentaje de las ventas.

Como se puede apreciar los objetivos de la puesta en práctica de Seis Sigma es reducir próximos a ceros la variabilidad, defectos, errores y fallas de los procesos, lo que se relaciona con la disminución de las pérdidas de tiempo, perdidas de máquinas, pérdida de mano de obra, materiales y energía, y otros elementos que permite mejorar, lo que conlleva un aumento de la calidad del producto o servicio.

Sus tres áreas de acción son:

1. Satisfacción del cliente
2. Reducción del tiempo de ciclo
3. Disminución de los defectos

3.4.1 Personal Seis Sigma

La metodología Seis Sigma tiene una estructura de funciones y roles definidos para el desarrollo de la metodología, las personas encargadas son entrenadas de forma especializada para cumplir con sus responsabilidades, los niveles de entrenamiento se distinguen al igual como lo hacen en las artes marciales, mediante cinturones de color.

- **Champion (campeón o patrocinador):** son los encargados de guiar la dirección estratégica de Seis Sigma, contribuyendo a la identificación y validación de potenciales proyectos, siendo los responsables de entregar los recursos necesarios para apoyar a los proyectos que se realizarán y de remover cualquier tipo de obstáculo que impida el normal desarrollo del proyecto.
- **Master Black Belt (Maestro de Cinta Negra):** son expertos en la metodología Seis Sigma, capacitados en las herramientas y tácticas tanto teóricas como prácticas, son personal de tiempo completo. Son los encargados de coordinar e implementar la metodología enseñándola y promoviendo su utilización. Poseen una experiencia excepcional y conocimiento de la práctica industrial actual. Los cinturones negros maestros tienen una capacidad de liderazgo sobresaliente, son innovadores y demuestran un fuerte compromiso con la práctica y el avance de la calidad y la mejora.
- **Black Belt (Cinturones Negros, Líderes de Proyectos):** son los encargados de liderar los proyectos, facilitando su desarrollo y cierre, los black belt son expertos técnicos de tiempo completo que dirige el equipo ayudando en el uso de la metodología y orientación para el desarrollo de las técnicas de resolución de problemas, han sido capacitados en las herramientas y técnicas de Seis Sigma.
- **Green Belts (cinturón verde):** son los expertos técnicos que solo están en tiempo parcial en los proyectos Seis Sigma, prestan apoyo a los black belt en las actividades de los proyectos y en las distintas fases de desarrollo.

3.4.2 Proceso de mejora DMAIC

La metodología Seis Sigma contiene diferentes métodos para la mejora de calidad de un proceso, además permite mejorar las condiciones de trabajo y la moral del personal. Es más agradable y seguro trabajar en un sitio limpio y ordenado, reducir gastos de tiempo y energía, reducir riesgos de accidentes, mejorar la calidad de la producción y la seguridad en el trabajo. Una de ellas se basa en un sistema de 5 principios para poder alcanzar el objetivo planteado de manera sistemática, limpia y ordenada, cuyo ciclo se llama DMAIC (Define/Definir, Measure/Medir, Analyze/Analizar, Improve/Mejorar y Control/Controlar).

La metodología se utiliza cuando existe un problema de causa conocida y solución desconocida como se muestra en la figura a continuación:

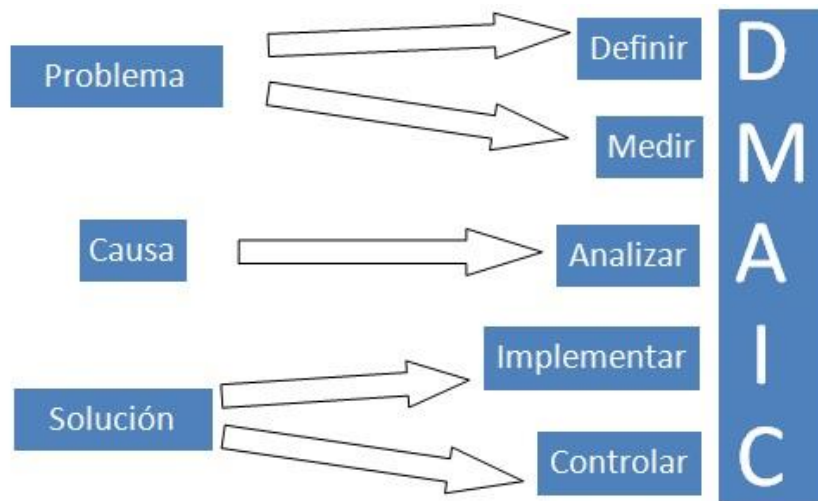


Figura 7. Proceso de solución DMAIC.

Fuente: Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma.

El proceso de mejora DMAIC utiliza una gran cantidad de herramientas y técnicas que pueden incluir métodos estadísticos, manteniendo las mejoras a largo plazo.

A continuación, se describen cada una de las etapas que componen el ciclo de mejora DMAIC:

- **Definir:** Se definen los alcances del proyecto, se entiende el problema a solucionar o reducir, como también las condiciones actuales del proceso. Se definen las expectativas del cliente, además de incluir el enunciado específico del problema.
- **Medir:** Se establece la forma de medición del desempeño del proceso que se desea mejorar y mide la condición actual del problema para poder visualizar el impacto que tendrán las posibles soluciones que se implementaran. Se establecen metas a las que se aspira mejorar problema.
- **Analizar:** Se estudian los datos recolectados y el equipo determina por qué, cuándo y cómo ocurren los defectos o fallas. Selecciona las herramientas de análisis, gráficas adecuadas, plantea un conjunto de mejoras potenciales para implementarse en la siguiente fase: Implementar. Después de analizar, el equipo puede entregar un mapa del proceso detallado y un enunciado más limpio del problema.
- **Implementar:** Se evalúan y se implementan los resultados de la fase analizar. Las soluciones se diseñan para eliminar la causa raíz del problema y que los resultados cumplan las metas establecidas como también las expectativas del cliente. Parte importante de esta fase es la replicación de la mejora instalada, para ampliar los beneficios.
- **Controlar:** Se monitorea el desempeño actual del proceso para comparar con las metas establecidas en un principio y con la diferencia se calculan los beneficios obtenidos gracias a las mejoras establecidas. Se diseña un sistema para mantener en el tiempo las mejoras logradas, cierra el proyecto y se aprenden las lecciones.

3.4.3 Estructura de desarrollo de metodología DMAIC

El proceso que se desarrollará se relaciona directamente con la metodología que se empleará en el proyecto, es decir, la metodología de calidad Seis Sigma en donde se seguirá sistemáticamente su herramienta DMAIC. A continuación, se presentan las etapas de esta metodología y las herramientas que se utilizarán.

3.4.3.1 Definir

El objetivo de esta primera fase es poder definir el problema que se desea resolver, para ello, se estratificarán los datos y se realizará un diagrama de Pareto, para poder enfocarse en la causa raíz que tienen la mayor influencia en la contribución de las pérdidas. Se le da el título al proyecto, estableciendo los objetivos a los que se aspirarán, también se define el equipo con el cual se plantea dar solución al problema, asignándoles sus respectivos roles y tareas. En esta fase se realiza una primera evaluación del impacto financiero que tendrá el proyecto y el planeamiento que tendrá.

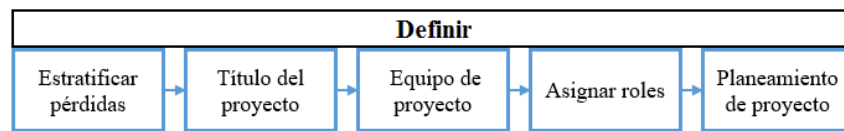


Figura 8. Componentes etapa definir.

Fuente: Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma.

3.4.3.1.1 Estratificar pérdidas

Se determinan las variables a medir y se estratifican los datos mediante un análisis de Pareto para explicar la justificación del proyecto. Este análisis se utiliza para presentar en orden de importancia la contribución de cada elemento al efecto total y ordena de mayor a menor las oportunidades de mejora. Es una técnica relativamente sencilla que ordena los elementos desde el más frecuente al menos frecuente, basándose en el principio básico de Pareto que concluye que un 20% de las fuentes causan el 80% de cualquier problema. Lo que permite distinguir los elementos más importantes, obteniendo la mayor mejora con el menor esfuerzo. Utilizando la gráfica de Pareto permite identificar rápidamente de manera visual las minorías de características rebeldes a las que es importante poner atención y enfocar los recursos necesarios para implementar las acciones correctivas sin mal gastar esfuerzos. La influencia de cada elemento puede ser tanto en costo, frecuencia, fallas, etcétera. Para el diagrama se utiliza un gráfico de barra para indicar la contribución de cada elemento y para la frecuencia acumulada se traza una curva que indica la contribución acumulada de cada elemento.

Esta herramienta incluye los siguientes pasos para ser empleada:

1. Se selecciona los elementos a estudiar.
2. Se selecciona la unidad de medición para el análisis, por ejemplo: cantidad de sucesos, costos u otra medición de impacto.
3. Se selecciona el período de tiempo en que se va a analizar los resultados obtenidos
4. Se hace un listado de los elementos desde la izquierda hacia la derecha sobre el eje horizontal, de modo que disminuya la magnitud de la unidad de medición.

5. Se construye dos ejes verticales, uno en cada extremo del eje horizontal. La escala del eje izquierdo debería estar calibrada en la unidad de medición y su altura debería ser igual a la suma de las magnitudes de todos los elementos. La escala sobre el eje derecho debe tener la misma altura y calibrarse de 0 a 100 %.
6. Se dibuja, encima de cada elemento, un rectángulo cuya altura representa la magnitud de la unidad de medición para ese elemento.
7. Se construye la curva de frecuencia acumulada, sumando las magnitudes de cada elemento, de izquierda a derecha (ver figura 9).
8. Se usa el diagrama de Pareto para identificar los elementos más importantes para la mejora de la calidad.

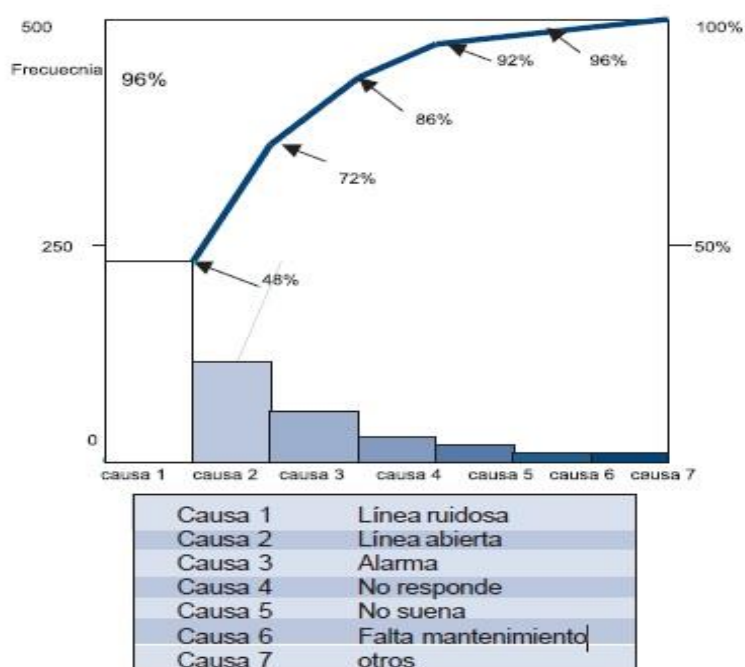


Figura 9. Diagrama de Pareto.

Fuente: Herramientas para la calidad de mejora.

El gráfico de la figura 9 nos indica que las líneas ruidosas y las líneas abiertas suman el 72% de los informes de dificultades con los teléfonos y esto indica las mayores posibilidades de mejoramiento, por lo tanto, es donde se deberían enfocar los esfuerzos para mejorar.

El objetivo principal que busca el diagrama de Pareto se da cuando el proceso tiene varios influyentes que contribuyen en distintas proporciones al fenómeno que se quiere mejorar, su foco es que no se den esfuerzos innecesarios tratando de resolver todos los problemas al mismo tiempo atacando sus causas raíces, sino que más bien con los datos e información necesaria, se debe realizar un análisis estadístico, se establecen las prioridades y así poder focalizar tantos los recursos como los esfuerzos en donde estos tengan el mayor impacto posible.

3.4.3.1.2 Acotación del proyecto

Engloba el título del proyecto, las categorías de pérdidas, declaraciones de oportunidades y los beneficios estimados.

3.4.3.1.3 Establecer el equipo de proyecto

Se debe establecer un equipo multifuncional que incluye asociados claves para el proyecto. Roles y responsabilidades de los miembros del equipo están documentadas.

Para conformar el equipo de trabajo lo recomendado es que la cantidad de personas sea entre 6 y 10. Las personas que constituyen al equipo deberán estar dotadas del apoyo técnico, autoridad y de los recursos necesarios para los cambios que impliquen el proyecto.

La integración al equipo se realiza por:

- Invitación basada en la experiencia y conocimiento.
- Invitación por carácter voluntario.

El equipo lo encabezará el líder del proyecto, el cual será el responsable del estudio del problema, como también el encargado de coordinar las tareas y actividades del equipo. El líder será quien empuje al equipo a alcanzar las metas, objetivos propuestos y de asegurar que se trabaje de forma armónica, coherente, constante y de potenciar el trabajo en equipo. Cada uno de los integrantes aportará con sus conocimientos individuales.

La Metodología para el trabajo en equipo será la siguiente:

- Crear un equipo, cuyo tamaño e integración varía según el enfoque que se le pretende dar al problema y el tipo de estudio que se emprende. Deben participar personas de diferentes áreas.
- Establecer objetivos específicos
- Elaborar un plan, lo cual implica:
 - Fijar el alcance del estudio
 - Establecer el cronograma
 - Estimar los costos o la relación beneficio / costo
- Inicio de la sesión de trabajo, presentación de los integrantes, aclarar objetivos, definir roles.
- Efectuar el estudio, desarrollar la sesión de trabajo.
- Comparar los resultados con los objetivos, establecer conclusiones y registrarlas.
- Implantar las acciones y registrar las mismas.
- Verificar los logros y registrar los mismos.
- Finalizar el estudio o reformularlo, según corresponda.

3.4.3.1.4 Asignación de roles, horario de reuniones

Agenda y ubicación de las reuniones del Proyecto.

3.4.3.1.5 Programa del proyecto

Se definen el cronograma de cada una de las etapas del proyecto, las que se dividen en: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

Para realizar la planificación de un proyecto existen herramientas tales como:

- Carta Gantt
- Diagrama de PERT
- El método de ruta crítica

La planificación del proyecto se realizará a través de una carta Gantt y para su confección se utilizará el software Microsoft Project, el cual permite responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las fechas programadas del inicio y de finalización de cada actividad específica?
- ¿Qué controles se debe ejercer en el flujo de recursos financieros para las diversas actividades durante el proyecto, para cumplir con el proyecto total?
- ¿Cuánto se puede demorar las actividades no críticas antes de provocar un retraso en la fecha de finalización del proyecto total?
- ¿Cuál es la fecha de finalización del proyecto?
- ¿Cómo se puede concentrar en forma efectiva los recursos y las actividades con el objetivo de acelerar la finalización del proyecto?
- ¿Cuáles actividades son críticas en el sentido de que deben finalizar estrictamente como fueron programadas para llegar a la finalización del proyecto total?

A modo de ejemplo de una carta Gantt se ilustra la siguiente imagen:

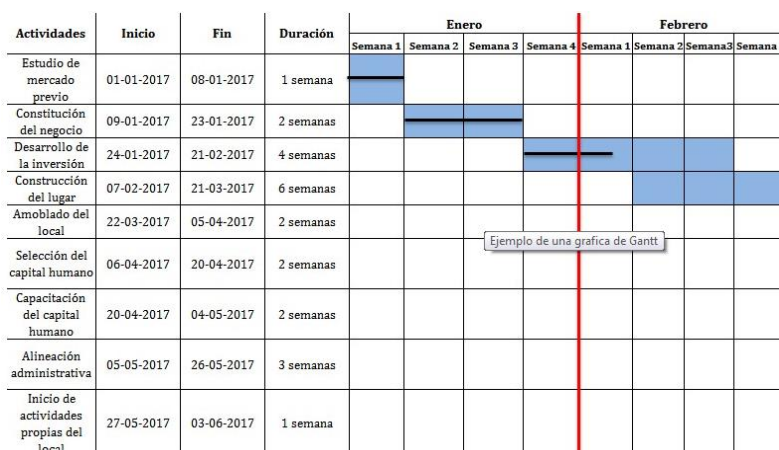


Figura 10. Ejemplo de Carta Gantt.
Fuente: Manual OBS Business School.

3.4.3.2 Medir

Una vez habiendo definido la variable de medición en la fase anterior, se procede a la recolección de datos, con el fin de tener un indicador inicial y la base del problema para posteriormente compararlas con los resultados que se obtendrán con las medidas implementadas.

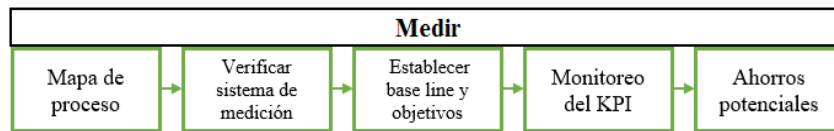


Figura 11. Componentes etapa medir.

Fuente: Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma.

3.4.3.2.1 Mapa general del proceso

Para la realización del diagrama de proceso se utilizará un diagrama de flujo con la ayuda del software Microsoft Visio. El diagrama de flujo es una representación gráfica y simple de un proceso en donde se indican las actividades que se realizan en el transcurso del tiempo. Esta herramienta es empleada para detallar un proceso, para analizarlo y estudiar sus posibilidades de simplificación, mejora o reestructuración. Su utilización facilitará al equipo de trabajo visualizar de mejor manera al problema que se aborda, ayudando también a identificar el punto donde se recolectarán los datos.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo para su ejemplificación:

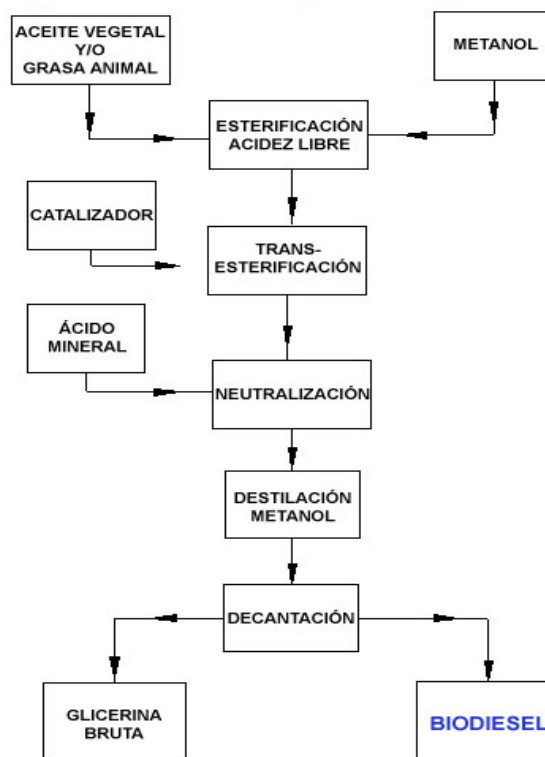


Figura 12. Diagrama de flujo de producción de biodiesel.

Fuente: Manual de Bioenergía y seguridad alimentaria, Etanol y Biodiesel.

3.4.3.2.2 Análisis del sistema de medición de datos

La recolección de datos nos permite el estudio de los síntomas y el entendimiento del problema. Dicha actividad es muy importante para la obtención de información que pueda respaldar las resoluciones que se tomarán al respecto, las que estarán fundamentadas en base a hechos.

Las siguientes preguntas son las necesarias para verificar que las mediciones tengan resultados concluyentes:

Tabla 2. Preguntas para valores significativos.

Fuente: MILLIKEN. Mejora enfocada manual de campo DMAIC, 2018.

¿Qué se mide?	Las fluctuaciones de las variables contenidas en la hipótesis o pregunta de investigación.
¿Cómo se mide?	Se registran los valores visibles que presentan a las variables, valores que han sido previamente vinculados con ítems numéricos.
¿Con qué se mide?	Con algún instrumento de medición disponible como: formularios, instrumentos, análisis de contenidos, otros.
¿Cómo se aplica el instrumento?	Puede ser auto-aplicado, por entrevistas o por observación.
¿Cómo se preparan los datos para analizarlos?	Las respuestas obtenidas, previamente codificadas, se transfieren a una matriz de datos y se preparan para su análisis estadístico.

Los resultados serán utilizados para el análisis y la toma de decisiones y realizar las contramedidas de corrección del problema. Se debe verificar los datos que se recolectan, ya que estos deben ser analizados, verificando la calibración del instrumento de medición, y además descartar la inconsistencia de datos, tales como errores de lectura y de registro.

3.4.3.2.3 Determinación de línea base y objetivos

La línea base es un estudio que determina la situación inicial de un proyecto, es decir, permite conocer los valores iniciales antes de comenzar a realizar las intervenciones que mejoraran el proceso. Se debe realizar cuando el proyecto inicia ya que permitirá hacer la comparación posterior a la contramedida en el tiempo, pudiendo visualizar el real impacto que generaron los cambios realizados. La determinación de la línea base permite conocer el escenario actual en que se encuentra el proceso antes de comenzar a realizar intervenciones. Su determinación servirá como punto de comparación entre el antes y el después de haber realizado las contramedidas que mejoraran el proceso y así poder visualizar su real impacto. Para corroborar datos previos a la realización del proyecto y verificar su justificación y evaluar su desempeño.

Se realizará un análisis de un intervalo de tiempo, mediante la utilización de gráficos obtenidos por el departamento de finanzas, los cuales entregan información sobre la cantidad de neumáticos defectuosos obtenidos por trimestre, el valor de neumáticos defectuosos vulcanizados, para poder ir desglosando las áreas de la empresa en donde se debe buscar la mejora, para luego así poder estratificar el lugar exacto de esta, y cuánto ahorro genera el cambio que se hará, utilizando un criterio realista, pero ambicioso monetariamente, para determinar el objetivo al que se desea llegar.

Al definir la línea base, se procede a realizar la diferencia entre la situación actual del proceso y la meta donde apuntar la mejora. La línea base se determina mediante estudios históricos de neumáticos para poder saber cuántos neumáticos defectuosos en verde y vulcanizado se genera promedio con respecto al total de neumáticos vulcanizados.

Objetivo = Línea Base [Neumáticos]- Porcentaje de Línea Base [Neumáticos]

3.4.3.2.4 Seguimiento de la medición

Se establece dentro del equipo de trabajo, los responsables de la recolección de datos y tiempos de entrega. Mediante histogramas, gráficos de control, planillas de inspección, diagramas de dispersión u otra herramienta estadística, se hace el seguimiento a la variable a medir.

3.4.3.2.4.1 Hoja de datos

Es una hoja que contendrá una tabla preparada para llenar con los datos que serán recogidos de una forma sencilla, eficaz y ordenada. El objetivo de esta hoja de datos es la recaudación de los datos, proceso elemental para el posterior análisis del problema y de su control. La opción de una exhibición a través de un gráfico se debe a que simplifica su visualización para todo tipo de individuo independientemente de su grado preparación.

3.4.3.2.4.2 Gráfica de control

Para el seguimiento de la medición se utilizará un Indicador Clave de Rendimiento (KPI, Key Performance Indicator), indicador clave de rendimiento, el cual permite analizar el comportamiento del proceso a través del tiempo, que ayudará a distinguir las causas especiales de las comunes.

3.4.3.2.5 Verificación de beneficios

El potencial ahorro debe ser verificado por el miembro del equipo financiero. El potencial ahorro ha sido verificado por el miembro del equipo financiero y además liderazgo ha dado la aprobación para seguir adelante.

3.4.3.3 Analizar

Los datos recolectados se deben utilizar para hacer los análisis que establece las potenciales mejoras que se implementarán. En esta parte del proyecto, es fundamental poder identificar la o las causas raíces del problema y comprender su origen.

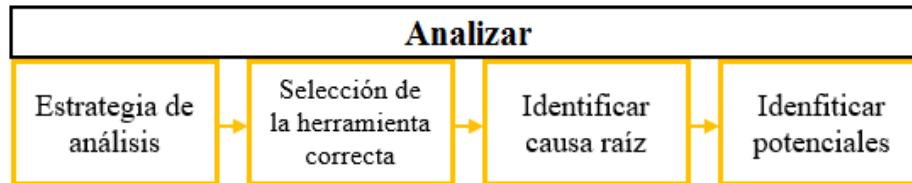


Figura 13. Componentes etapa analizar.

Fuente: Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma.

3.4.3.3.1 Determinación de la estrategia de análisis

Es necesario el desarrollo de una estrategia para identificar la causa raíz del problema. Se determina la herramienta necesaria para el análisis del problema. En procesos de mejora existen las denominadas 7 herramientas básicas (7H). Las que pertenecen al círculo de calidad son diagrama causa-efecto, gráficos de Control, estratificación, hojas de recopilación de datos, histogramas, diagrama de Pareto, diagrama de dispersión. Además de estas herramientas también existen los 5 Porqués, diagrama de Gantt, tormenta de ideas, gráficos de representación y diagrama de flujos.

En primer lugar, se debe conocer tanto la función como el objetivo que se busca de las herramientas descritas anteriormente, ya que son similares en cuanto a resultados, pero difieren en su metodología de aplicación. Por lo que es necesario entender la manera de solucionar el problema de cada una de ellas.

3.4.3.3.2 Elegir las Herramientas de Análisis para identificar Causa Raíz

La herramienta de Análisis de Causa Raíz ha sido seleccionada.

Utilizando la lluvia de ideas se identifican las posibles causas del problema para después utilizar un diagrama de causa efecto.

3.4.3.3.2.1 5W-1H

Esta metodología se utiliza como herramienta de análisis. Las 5W vienen del inglés Who, What, Where, When, Why (quién, qué, dónde, cuándo, por qué), y se incluye la H, "How" (cómo), como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. 5W1H.

Fuente: MILLIKEN. Mejora enfocada manual de campo DMAIC, 2018.

	Pregunta	Objetivo	Descripción
Tema	What ¿Qué?	Determinar qué sucede	¿Qué se hace ahora? ¿Qué se ha estado haciendo? ¿Qué se debe hacer? ¿Qué se debería hacer? ¿Qué más se podría hacer?
Secuencia	When ¿Cuándo?	Determinar en qué momento del día o del proceso	¿Cuándo se hará? ¿Cuándo terminará? ¿Cuándo se hace? ¿Cuándo se debería hacer? ¿Cuándo se podría hacer?
Ubicación	Where ¿Dónde?	Determinar en dónde están sucediendo los problemas	¿Dónde se hará? ¿Dónde se está haciendo? ¿Dónde se debería hacer? ¿Dónde más se podría hacer?
Personas	Who ¿Quién?	Determinar la relación entre las habilidades de las personas y el problema	¿Quién lo hará? ¿Quién lo está haciendo? ¿Quién debería hacerlo? ¿Quién más podría hacerlo? ¿Quién más debería hacerlo?
Métodos	How ¿Cómo?	Determinar cómo se diferencian con el estado normal de funcionamiento	¿Cómo se está haciendo? ¿Cómo se hará? ¿Cómo se debería hacer? ¿Cómo hacerlo de otra manera? Determinar causas: ¿Por qué?
Causas	Why ¿Por qué?	Determinar las causas posibles que originan el problema	¿Por qué se hace así ahora? ¿Por qué debe hacerse? ¿Por qué hacerlo en ese lugar? ¿Por qué hacerlo en ese momento?
Cantidad	How much/many ¿Cuánto?	Determinar la cantidad de recursos que se necesitan	¿Cuántos recursos materiales, humanos se requieren para la mejora de la actividad? ¿Cuántos recursos financieros y de otro tipo?

3.4.3.3.2.2 Lluvia de ideas

También denominada tormenta de ideas es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado, pretende identificar las posibles causas del problema, debido a que se parte por un listado de ideas que son tentativas, para luego así corregir estas como equipo de trabajo y obtener los distintos aportes de los miembros del equipo, en un ambiente de trabajo relajado, participativo, creativo y espontáneo.

3.4.3.3.2.3 Diagrama de Causa-Efecto o Ishikawa

Es una herramienta gráfica que se utiliza para la identificación de las posibles causas que provocan un cierto efecto o problema. Para su construcción se utiliza el método de las 6M, que son Mano de obra, Método, Medio ambiente, Máquina, Medición y Materiales, en donde cada una de las 6m conforma una espina del diagrama y se les relaciona cada una de las distintas potenciales causas que generan el efecto.

En la tabla 4 se muestran sus componentes:

Tabla 4. Componentes Diagrama de Causa-efecto o Ishikawa.

Fuente: Herramientas para la calidad de mejora

Método <ul style="list-style-type: none"> • Estandarización • Excepciones • Definición de operaciones 	Mano de obra o gente <ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento • Entrenamiento • Habilidad • Capacidad 	Medio ambiente <ul style="list-style-type: none"> • Ciclos • Temperatura • Ajustes • Mantenimiento
Material <ul style="list-style-type: none"> • Variabilidad • Cambios • Proveedores • Tipos 	Máquina <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad • Condiciones de operación • ¿Hay diferencias? • Herramientas 	Mediciones <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad • Definiciones • Tamaño de la muestra • Repetitividad

A continuación, se muestra en la figura 14 un ejemplo de un diagrama de Ishikawa:

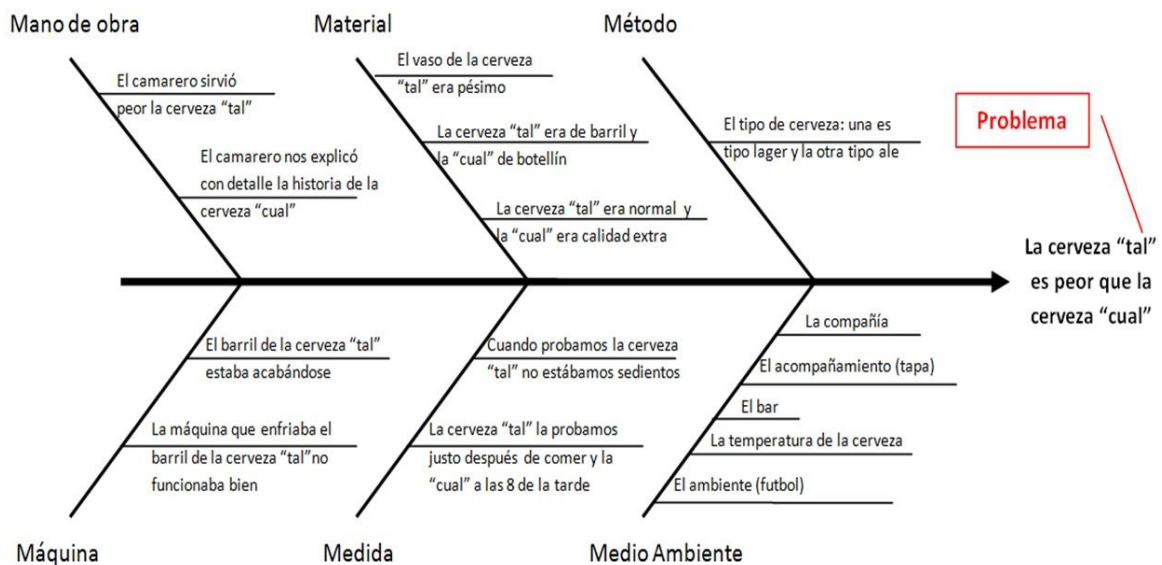


Figura 14. Ejemplo diagrama de Ishikawa.

Fuente: Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México).

3.4.3.3.3 Identificación de causa raíz

Se identifica la o las causas del problema priorizando su impacto. Se realiza el estudio del análisis de cuáles son las causas que han dado origen al problema o a la no conformidad. Se debe determinar de manera precisa la causa raíz para poder definir las medidas correctivas necesarias para solventar el problema o atenuarlo, evitando que se repita en el futuro.

3.4.3.3.4 Selección de contramedidas

Se realiza una lista de todas las posibles ideas de acciones, definiendo de manera clara el rango de cada una de ellas en que aplica y el impacto de estas.

3.4.3.4 Implementar

Se procede a determinar un plan de acción, el cual deberá ser implementado a través de distintas herramientas como las LUP (Lección de Un Punto), en la cual se especifica la acción a realizar por parte del operador, para corregir errores que puedan generar una solución en nuestra variable a controlar, además se determina el efecto de esta, analizando los correspondientes seguidores (Trackers) o Indicadores Claves de Rendimiento (KPI), que nos permiten realizar un seguimiento de dicha variable, y finalmente dentro de estas mismas se seleccionan las acciones correspondientes que se deben mantener para poder controlar en el paso del tiempo la variable que se desea manipular.

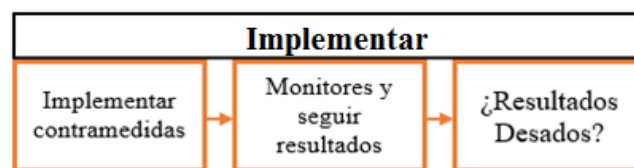


Figura 15. Componentes de etapa implementar.

Fuente: Fuente: Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma.

3.4.3.4.1. Registro de Contramedida

Se debe consultar la selección de acciones, para ser juzgadas por los miembros del equipo, dependiendo si la contramedida o acción es exitosa, esta será mantenida después del proyecto.

3.4.3.4.2 Plan de acción

Es una guía para tener una estructura a la hora de llevar a cabo las acciones que se tomarán. Para ello se determinan y se asignan las tareas, definiendo los plazos de tiempo. Se resumen las tareas a realizar por los integrantes del equipo, en un plazo de tiempo específico, para lograr un objetivo dado. Para lograrlo se debe discutir qué, cómo, cuándo y con quien se realizarán las acciones. Es un trabajo en equipo, por ello es importante reunir a todos los involucrados en el proyecto.

3.4.3.4.3 LUP

La LUP (lección de un punto) es una herramienta que se utiliza con la finalidad de difundir el conocimiento específico para corregir un problema que afecta la calidad al momento de realizar algún tipo de procedimiento.

Los objetivos son:

- Asegurar el traspaso del conocimiento a los distintos niveles.
- Elevar el conocimiento y habilidades del operador en sus funciones rutinarias.
- Disponer la información y el conocimiento en el momento oportuno.

Para su creación es necesario:

- Ser simple y claro en la redacción.
- Ser difundida a todo el personal involucrado.
- Identificar el problema real.
- Identificar el punto que se desea enseñar.

Los beneficios son:

- Fomenta la cultura del aprendizaje.
- Disminuye los ciclos de entrenamiento.
- Fomenta el trabajo en equipo.
- Reduce los costos en entrenamiento.

3.4.3.4.4 Contramedidas

Se seleccionan las acciones a mantener.

3.4.3.4.5 Cálculo de Ahorros Reales y Aprobación

Las acciones para mantener después del proyecto deben tener asociados sus ahorros calculados.

3.4.3.5 Controlar

Se establecen los planes de sostenimiento, replicación, entrenamiento, revisión y respuesta y, los resultados del proyecto.

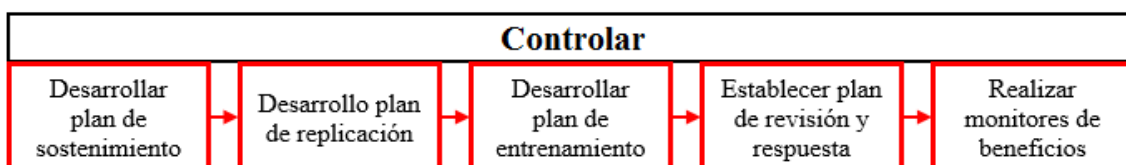


Figura 16. Componentes de etapa controlar.

Fuente: Fuente: Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma.

3.4.3.5.1 Plan de sostenimiento

Se establecerán las medidas necesarias para el control del proceso y así poder tener registro documentado y revisado de las fluctuaciones del problema.

3.4.3.5.2 Plan de replicación

Es un procedimiento repetitivo para buscar aumentar la cantidad de mejoras establecidas a nivel planta, utilizando los mismos parámetros de corrección para máquinas y/o procesos similares. Dicho plan de replicación debe contener todas las acciones seleccionadas, con un propietario individual por máquina o área y una fecha de vencimiento específica.

3.4.3.5.3 Plan de entrenamiento

Consta con el inicio y desarrollo de un plan para entregar capacitación necesaria a los asociados actuales. Se debe capacitar a los asociados actuales afectados por cada acción, en la cual se debe especificar además todos los individuos involucrados a entrenar.

3.4.3.5.4 Plan de revisión y respuesta

Se establece un proceso de revisión y respuesta para controlar los detonadores de acción.

3.4.3.5.5 Resultados del proyecto

Los beneficios se están logrando mediante el control de los indicadores clave de rendimiento durante un período prolongado de tiempo. Con el objetivo de concluir el proyecto, cada elemento debe ser completado. Cada elemento debe ser verificado y firmado por el liderazgo como se muestra en la figura a continuación:

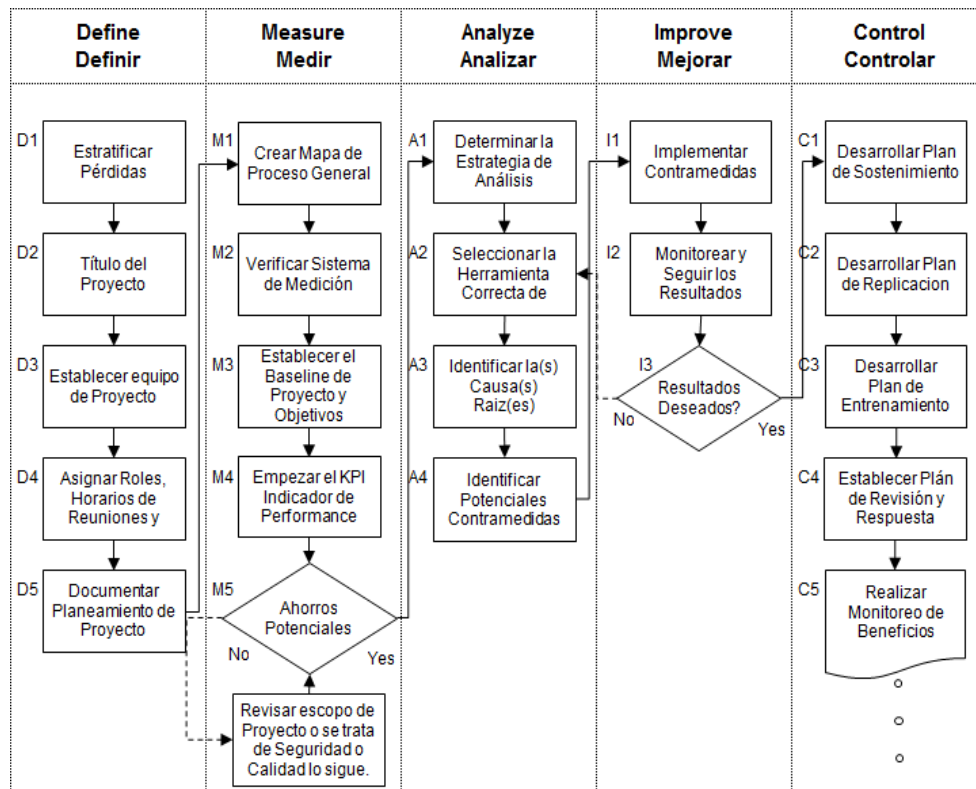


Figura 17. Secuencia de la metodología DMAIC.

Fuente: MILLIKEN. Mejora enfocada manual de campo DMAIC, 2018.

3.4 DOE (Design Of Experiment) |8|

3.4.1 Descripción General

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

El DOE ayuda a investigar los efectos de las variables de entrada (factores) sobre una variable de salida (respuesta) al mismo tiempo. Estos experimentos consisten en una serie de corridas, o pruebas, en las que se realizan cambios intencionales en las variables de entrada. En cada corrida se recolectan datos. El DOE se utiliza para identificar las condiciones del proceso y los componentes del producto que afectan la calidad, para luego determinar la configuración de factores que optimiza los resultados.

3.4.2 Objetivos

- Determinar las principales causas de variación en la respuesta.
- Encontrar las condiciones experimentales con las que se consigue un valor extremo en la variable de interés o respuesta.
- Comparar las respuestas en diferentes niveles de observación de variables controladas.
- Obtener un modelo estadístico-matemático que permita hacer predicciones de respuestas futuras.

3.4.3 Tipos de variabilidad

Uno de los principales objetivos de los modelos estadísticos y, en particular, de los modelos de diseño de experimentos, es controlar la variabilidad de un proceso aleatorio que puede tener diferente origen. De hecho, los resultados de cualquier experimento están sometidos a tres tipos de variabilidad cuyas características son las siguientes:

3.4.3.1 Variabilidad sistemática y planificada

Esta variabilidad viene originada por la posible dispersión de los resultados debida a diferencias sistemáticas entre las distintas condiciones experimentales impuestas en el diseño por expreso deseo del experimentador. Es el tipo de variabilidad que se intenta identificar con el diseño estadístico.

Cuando este tipo de variabilidad está presente y tiene un tamaño importante, se espera que las respuestas tiendan a agruparse formando grupos. Es deseable que exista esta variabilidad y que sea identificada y cuantificada por el modelo.

3.4.3.2 Variabilidad típica de la naturaleza del problema y del experimento

Es la variabilidad debida al ruido aleatorio. Este término incluye, entre otros, a la componente de variabilidad no planificada denominada error de medida. Es una variabilidad impredecible e inevitable.

3.4.4 Resumen de los principales conceptos

En esta sección se hace un resumen de la terminología común utilizada en la teoría de los modelos de diseño de experimentos:

Variable de interés o respuesta: es la variable que se desea estudiar y controlar su variabilidad.

Factor: son las variables independientes que pueden influir en la variabilidad de la variable de interés.

Niveles: cada uno de los resultados de un factor. Según sean elegidos por el experimentador o elegidos al azar de una amplia población se denominan factores de efectos fijos o factores de efectos aleatorios.

Tratamiento: es una combinación específica de los niveles de los factores en estudio. Son, por tanto, las condiciones experimentales que se desean comparar en el experimento. En un diseño con un único factor son los distintos niveles del factor y en un diseño con varios factores son las distintas combinaciones de niveles de los factores.

Observación experimental: es cada medición de la variable respuesta.

Tamaño del Experimento: es el número total de observaciones recogidas en el diseño.

Interacción de factores: existe interacción entre dos factores FI y FJ si el efecto de algún nivel de FI cambia al cambiar de nivel en FJ. Esta definición puede hacerse de forma simétrica y se puede generalizar a interacciones de orden tres o superior.

Ortogonalidad de factores: dos factores FI y FJ con I y J niveles, respectivamente, son ortogonales si en cada nivel i de FI el número de observaciones de los J niveles de FJ están en las mismas proporciones. Esta propiedad permite separar los efectos simples de los factores en estudio.

Diseño equilibrado o balanceado: es el diseño en el que todos los tratamientos son asignados a un número igual de unidades experimentales.

3.4.5 Principios básicos en el diseño de experimentos

Al planificar un experimento hay tres principios básicos que se deben tener siempre en cuenta:

- El principio de aleatorización.
- El bloqueo.
- La factorización del diseño.

Los dos primeros (aleatorizar y bloquear) son estrategias eficientes para asignar los tratamientos a las unidades experimentales sin preocuparse de qué tratamientos considerar. Por el contrario, la factorización del diseño define una estrategia eficiente para elegir los tratamientos sin considerar en absoluto como asignarlos después a las unidades experimentales.

3.4.5.1 Aleatorizar

Aleatorizar todos los factores no controlados por el experimentador en el diseño experimental y que pueden influir en los resultados serán asignados al azar a las unidades experimentales.

Ventajas de aleatorizar los factores no controlados:

- Transforma la variabilidad sistemática no planificada en variabilidad no planificada o ruido aleatorio. Dicho de otra forma, aleatorizar previene contra la introducción de sesgos en el experimento.
- Evita la dependencia entre observaciones al aleatorizar los instantes de recogida muestral.
- Valida muchos de los procedimientos estadísticos más comunes.

3.4.5.2 Bloquear

Se deben dividir o particionar las unidades experimentales en grupos llamados bloques de modo que las observaciones realizadas en cada bloque se realicen bajo condiciones experimentales lo más parecidas posibles.

A diferencia de lo que ocurre con los factores tratamiento, el experimentador no está interesado en investigar las posibles diferencias de la respuesta entre los niveles de los factores bloque.

Bloquear es una buena estrategia siempre y cuando sea posible dividir las unidades experimentales en grupos de unidades similares.

La ventaja de bloquear un factor que se supone que tienen una clara influencia en la respuesta, pero en el que no se está interesado, es la siguiente: Convierte la variabilidad sistemática no planificada en variabilidad sistemática planificada.

3.4.6 Gráficas de Efectos Principales

Existe un efecto principal cuando diferentes niveles de un factor afectan la respuesta de manera diferente. Una gráfica de efectos principales grafica la media de respuesta para cada nivel de factor conectado por una línea.

Patrones generales que se deben buscar:

- Cuando la línea es horizontal (paralela al eje x), entonces no hay efecto principal. Cada nivel del factor afecta la respuesta de la misma manera y la media de respuesta es la misma para todos los niveles de los factores.
- Cuando la línea no es horizontal, entonces hay un efecto principal. Los diferentes niveles del factor afectan la respuesta de manera diferente. Mientras más inclinada sea la pendiente de la línea, mayor será la magnitud del efecto principal.

4. Desarrollo del Proyecto [9],[15]

El proyecto se lleva a cabo utilizando la metodología de calidad Seis Sigma, específicamente la herramienta DMAIC, buscando la disminución de neumáticos defectuosos por falla de empalme lateral abierto, en la máquina constructora.

Las fuentes de información para el proyecto fueron el área de construcción y vulcanización de la planta Goodyear Chile, otros puntos de información fueron las capacitaciones que la empresa entrega en materia de Seis Sigma y su herramienta DMAIC, además se consultaron documentos, libros y entrevistas que aportaron al desarrollo del trabajo, considerando que toda la información del área se encuentra disponible en plataformas generadas por la misma empresa en ayuda de proveedores.

El desarrollo del trabajo se plantea en el esquema representado en la figura 18 a continuación:

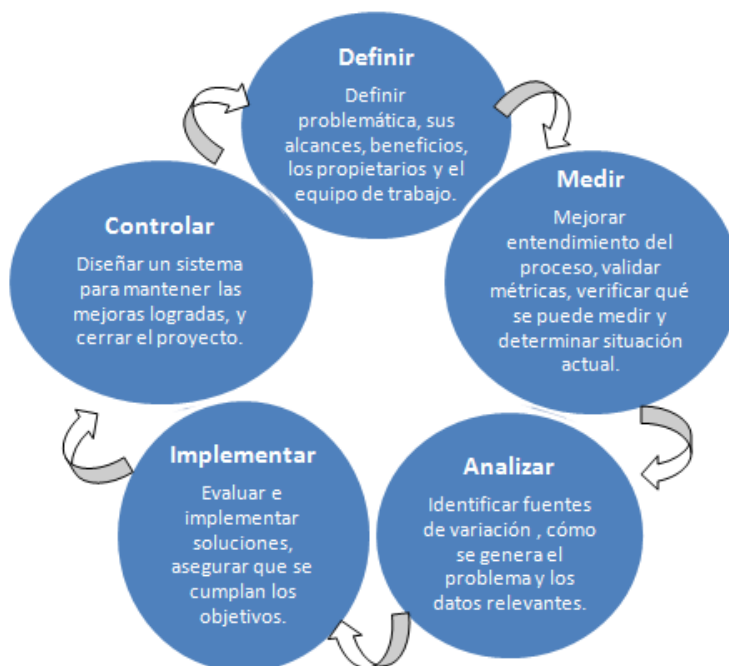


Figura 18. Esquema de trabajo.

Fuente: Control estadístico de calidad y Seis Sigma.

El trabajo de título contempla hasta la etapa de implementación, debido al tiempo de su ejecución, sin embargo, se dejarán planteadas las propuestas para el control del indicador en el futuro.

4.1 Definir

4.1.1 Identificación del problema

El proyecto tiene su creación debido a la gran cantidad de neumáticos scrap que están siendo construidos, en las máquinas constructoras HF, detectados futuramente al momento de ser vulcanizados en las prensas correspondientes al código que se está utilizando, lo que genera una gran cantidad de pérdida debido al estado de estos neumáticos.

4.1.2 Estratificar pérdidas

Para estratificar de buena forma el problema a resolver, es necesario indagar dentro de los primeros ofensores que generan los más altos costos dentro de la planta, es por esto que a continuación se muestra una gráfica con las principales pérdidas de planta, tanto operacional como no operacional en dólares:

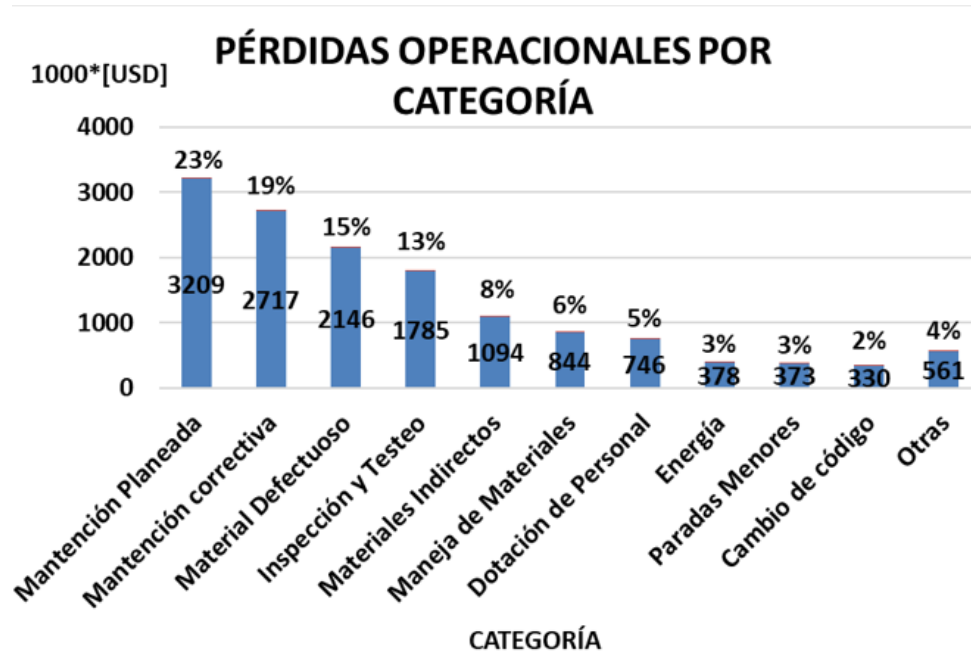


Gráfico 1. Pérdidas operacionales por categoría.



Gráfico 2. Pérdidas operacionales por departamento.

Como se muestra en el gráfico 1, la tercera categoría de mayor valor operacional es la pérdida de neumáticos defectuosos, con un total de 2.146 miles de dólares. Además, en el gráfico 2 se muestra el segundo departamento con mayor valor en pérdidas es el de construcción (Tire Assembly) con un valor total de 2.844 miles de dólares.

La cadena de producción de la planta de Goodyear Chile se separa en dos divisiones, la división A y B, a continuación, se muestran las pérdidas operacionales de ambas divisiones, para poder seguir una manera correcta de estratificación:



Gráfico 3. Pérdidas operacionales por división.

Como se puede observar en el gráfico 3, la división B presenta más pérdidas por scrap loss, por lo que se decide seguir indagando en esta para realizar una mejora sustancial. A continuación, se presentan los datos históricos, para saber en qué sección de dicha división se encuentran las mayores pérdidas por scrap, y en qué parte del proceso de fabricación se debe poner énfasis:



Gráfico 4. Cantidad de neumáticos defectuosos división B.

En el gráfico 4 se puede apreciar que el 53,7 % del total pertenece a scrap generados en el área de vulcanización y un 46,2% a neumáticos construidos.

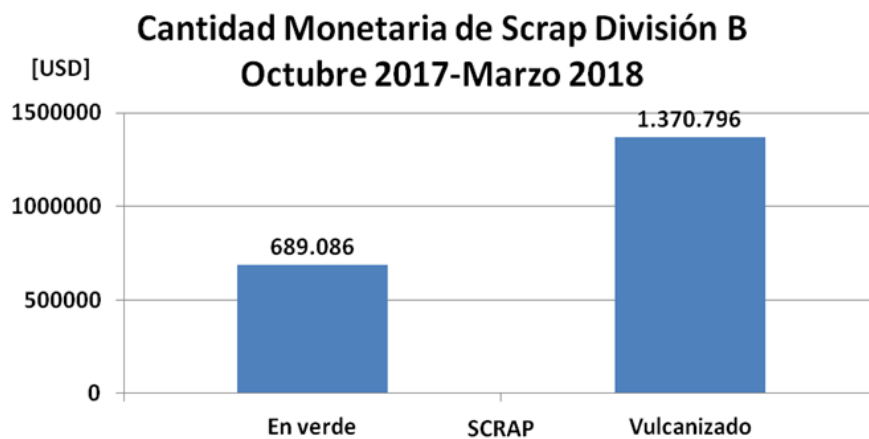


Gráfico 5. Cantidad monetaria defectuosa división B.

Se puede apreciar en el gráfico 5 que las mayores pérdidas por scrap en la división B, se encuentran luego de construir el neumático, siendo un 66,55% del total, por lo que esta diferencia es aún mayor que la del gráfico 4, debido a que el neumático aumenta su costo al ir avanzando en el proceso de manufactura.

El defecto en estudio solo se encuentra a partir de la construcción del neumático, por lo que a continuación, se muestran las pérdidas por defecto de la división B, del EAD 4 y 5, respectivamente:

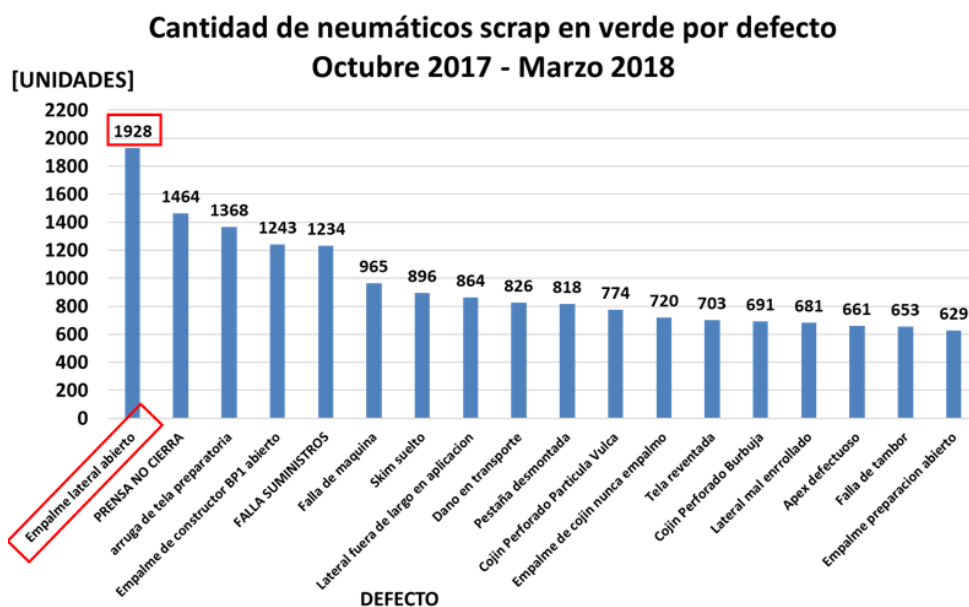


Gráfico 6. Unidades defectuosas por defecto octubre 2017 – marzo 2018.

Como se muestra en el gráfico 6, el defecto de empalme lateral abierto presenta 1.928 unidades defectuosas de un total de 31.653, correspondiente a un 4% del total de defectos, sin embargo, es uno de los proyectos que tienen mayor scrap en planta.

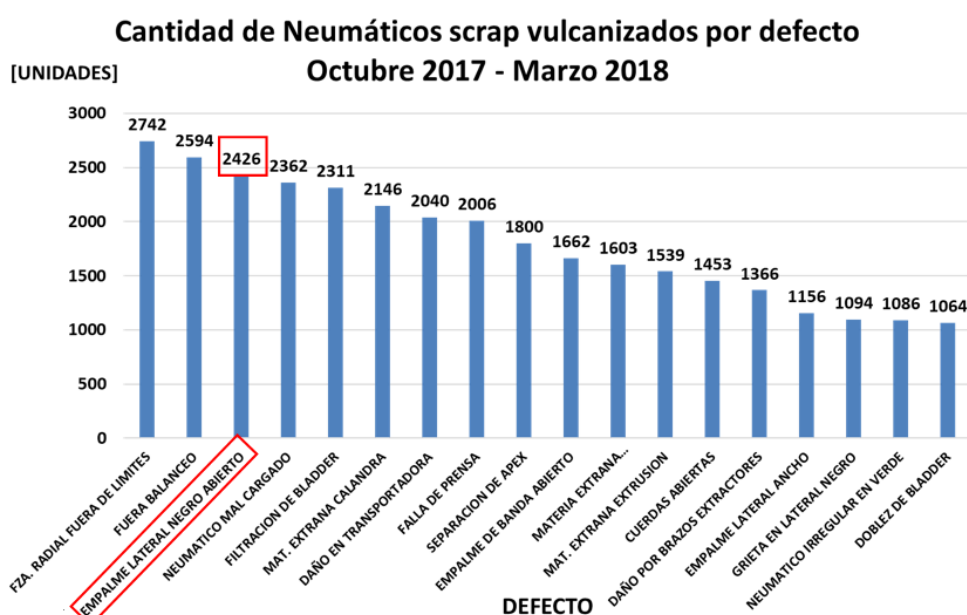


Gráfico 7. Unidades defectuosas por defecto octubre 2017 – marzo 2018.

Como se muestra en el gráfico 7, el defecto de empalme lateral negro abierto presenta 2.426 unidades defectuosas de un total de 61.412, correspondiente a un 4% del total de defectos, sin embargo, es uno de los proyectos que tienen mayor defectos en planta.

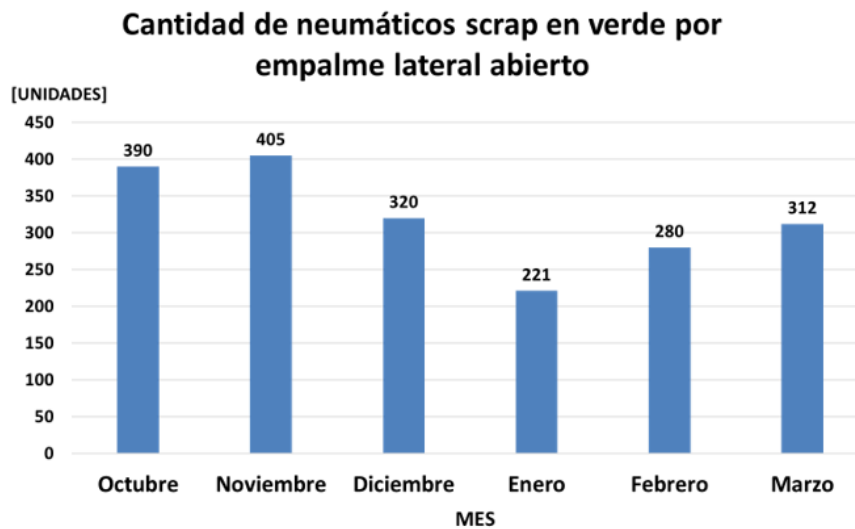


Gráfico 8. Cantidad de neumáticos defectuosos construidos mensual.

Como se muestra en el gráfico 8, en el periodo desde octubre 2017 a marzo 2018 se tuvo en promedio 321 $\left[\frac{\text{neumáticos}}{\text{mes}}\right]$ por empalme lateral abierto en toda la planta de Goodyear Chile.

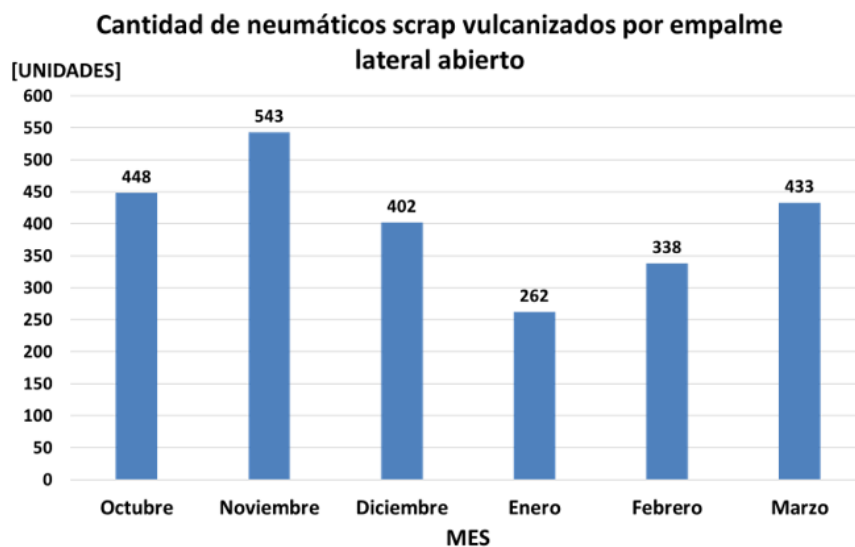


Gráfico 9. Cantidad de neumáticos defectuosos vulcanizados mensual.

Como se muestra en el gráfico 9, en el periodo desde octubre 2017 a marzo 2018 se tuvo en promedio 404 $\left[\frac{\text{neumáticos}}{\text{mes}}\right]$ por empalme lateral abierto en toda la planta de Goodyear Chile.

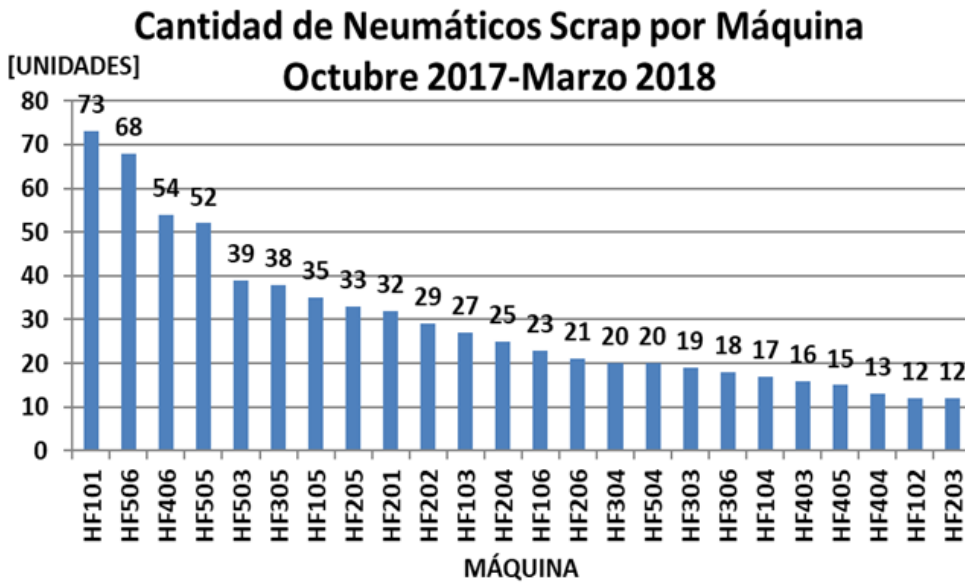


Gráfico 10. Cantidad de neumáticos defectuosos por máquina.

Como se muestra en el gráfico 10, se puede apreciar las máquinas con mayor producción de neumáticos defectuosos por empalme lateral abierto son las constructoras (101, 506, 406, 505 y 503), para así en un futuro poner especial énfasis en las máquinas que deberían generar un cambio fundamental dentro del área.

En las máquinas constructoras se producen distintos tipos de códigos de neumáticos, de los cuales en algunos de estos se tienden a construir mayor cantidad de neumáticos scrap con el defecto en cuestión. Para identificar el principal código ofensor dentro del defecto, se realizó un diagrama de Pareto, para poder saber en qué momento se va a generar mayor defecto debido al cambio de código que se está produciendo en la máquina.

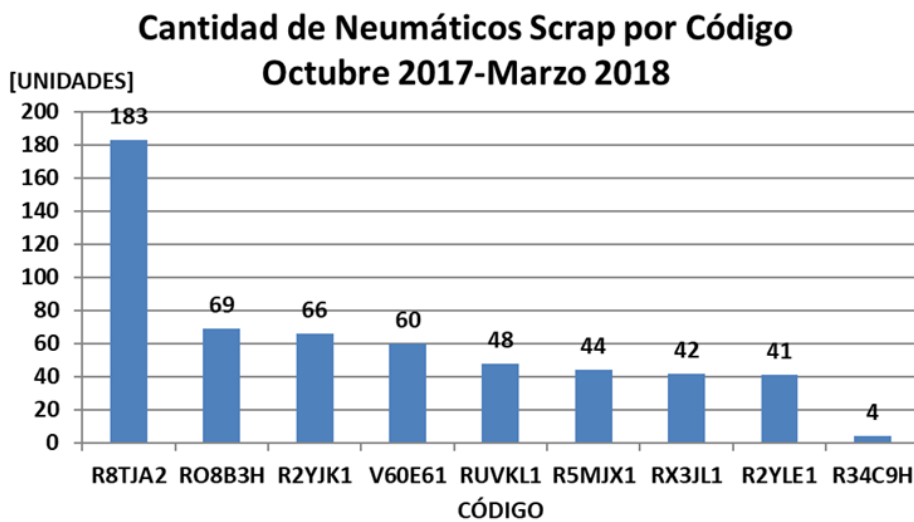


Gráfico 11. Cantidad de neumáticos defectuosos por código.

Como se aprecia en el gráfico 11 el código R8TJA2 es el que puede estar generando mayor cantidad de problemas al momento de aplicar el lateral, sin embargo, los códigos son rotativos con respecto a las máquinas, por lo que puede no ser la principal causa del defecto.

4.1.3 Acotación del proyecto

Título de Proyecto	Reducción de defectos por empalme lateral abierto en verde y vulcanizado.
---------------------------	---

Categoría de pérdida

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> Proyecto Master - Todas Pérdidas | <input type="checkbox"/> Inventarios relacionados | <input type="checkbox"/> Mantenimiento Planeado |
| <input type="checkbox"/> Fallas de Mantenimiento | <input checked="" type="checkbox"/> Pérdida de materiales / Scrap | <input type="checkbox"/> Pérdidas de Eficiencia Indust.Productos |
| <input type="checkbox"/> Cambios | <input type="checkbox"/> Manejo de materiales | <input type="checkbox"/> Retrabajo |
| <input type="checkbox"/> Desarrollo | <input type="checkbox"/> Misc. El tiempo de inactividad | <input type="checkbox"/> Start-Up / Shutdown |
| <input type="checkbox"/> Energía | <input type="checkbox"/> Misc. Desconocida paradas menores | <input type="checkbox"/> Substituciones |
| <input type="checkbox"/> Peso excesivo | <input type="checkbox"/> Sin Material / Materiales Relacionado | <input type="checkbox"/> Eficiencia de Entrenamiento |
| <input type="checkbox"/> Materiales Indirectos | <input type="checkbox"/> No Programado / Full Kanban | <input type="checkbox"/> Operador no disponible |
| <input type="checkbox"/> Inspecciones y Pruebas | <input type="checkbox"/> Dotación óptima de personal | |

4.1.4 Establecer el equipo de proyecto

El equipo de trabajo estará compuesto de 9 integrantes de distintas disciplinas, en donde la invitación será realizada según la experiencia y conocimiento que el miembro tenga en el tema. Estará compuesto por un líder, el cual debe juntar el equipo multidisciplinario con el fin de asegurar la diversidad del conocimiento, la inteligencia y las aptitudes necesarias para el desarrollo del proyecto con el fin de poder analizar y entregar solución al problema planteado, es quien coordina las actividades del equipo asegurándose que se trabaje en forma constante, consistente y coherente, llevando a cabo las tareas y objetivos propuestos.

Entre los integrantes del equipo se definen los roles que cada uno ha de cumplir:

Controlador de tiempo: asegura se cumple con los tiempos acordados para cada etapa definida del trabajo en equipo.

Miembro del equipo: da soporte y contribuye con su apoyo el proyecto.

Miembro de finanzas: responsable de realizar el cálculo de los ahorros del proyecto y brindar el material necesario correspondiente a finanzas.

Co-lider del proyecto: encargado de proveer los recursos necesarios en compañía del líder para facilitar su trabajo en momentos que su apoyo sea necesario.

Entrenador (Coach): es quien vela por el cumplimiento de la metodología seis sigma y aporta con herramientas para el desarrollo de tareas.

En la tabla a continuación se muestran los integrantes por cargo del proyecto:

Tabla 5. Equipo del proyecto.

Fuente: Elaborada por el autor.

Líder del proyecto	Rodrigo Villalobos
Co-líder del proyecto	Javier Jara
Controlador de tiempo	Felix Cortés
Miembro de finanzas	Mars Painemilla
Miembro del equipo	Sammy Toledo
Miembro del equipo	Rodrigo Vergara
Entrenador	Rodolfo Villalobos

4.1.5 Programa del proyecto

Para la planificación del proyecto, se utiliza una carta Gantt, para poder tener en consideración los tiempos comprendidos en cada una de las etapas del proyecto.

Para la realización de la carta Gantt, la planificación del proyecto se ordenó según los tiempos estimados para cada una de las etapas en que se compone la metodología DMAIC:

A continuación, se resume el programa del proyecto a ejecutar:

Actividad	Año 2018 [Meses]																																				
	Abril			Mayo				Junio				Julio					Agosto																				
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																	
Definir																																					
Medir																																					
Analizar																																					
Implementar																																					

Figura 19. Carta Gantt del proyecto.

Además, se elabora una carta Gantt detallada de cada una de las actividades que se ejecutarán durante el desarrollo del proyecto (Ver Anexo A).

4.2 Medir

En esta etapa se establece el procedimiento para la recolección de datos y se identifica la variable que produce el fenómeno, generando un registro del desempeño actual del proceso, obteniendo un sistema válido de medición y los datos que generarán la información necesaria para la investigación posterior del suceso.

Se procede a medir el defecto en estudio, para saber su comportamiento sin influir dentro de las variables que pueden llegar a arreglar el defecto, habiendo definido la variable en el paso anterior. Con el fin de tener un indicador inicial y la base del problema para posteriormente compararlas con los resultados que se esperan obtener.

4.2.1 Mapa general del proceso

El mapa general del proceso permite conocer el dónde exactamente se inicia el proceso y donde termina el mismo, identificando los puntos de control y medición en donde se produce el lateral mal aplicado, facilitando el estudio y la aplicación de acciones para la mejora del proceso.

Se realiza un diagrama de flujo del proceso de construcción, mediante el software Visio, para una representación gráfica de este, con el fin de tener una descripción visual de las actividades que se realizan en el proceso de construcción, facilitando su comprensión.

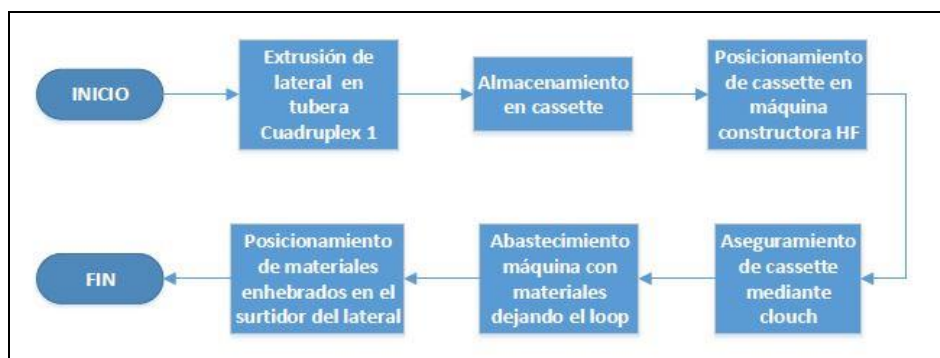


Figura 20. Diagrama de flujo del proceso de carga de suministro.

En la figura 21, se muestra el proceso de abastecimiento de la máquina constructora para poder generar un neumático. Luego de que la máquina tenga todos los recursos necesarios para su correcto funcionamiento es que esta ya puede entrar a funcionar dentro de los parámetros establecidos como se muestra en la figura a continuación:

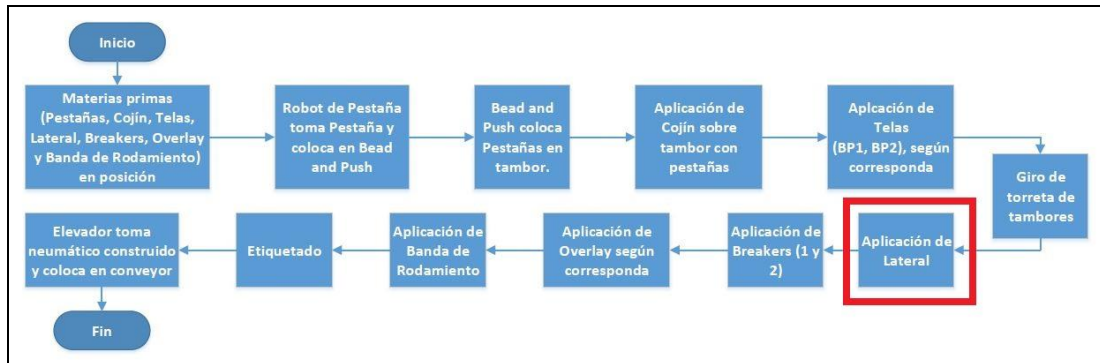


Figura 21. Diagrama de flujo del proceso de construcción.

Con la realización del diagrama de flujo de la figura 21, se identifica el proceso en dónde se origina el problema, siendo al momento de aplicar el lateral.

Es por esto, que se realizó el diagrama de flujo de abastecimiento para poder generar el lateral, y de la aplicación del lateral como se muestra a continuación:



Figura 22. Diagrama de flujo de la aplicación del lateral.

4.2.2 Análisis del sistema de medición de datos

Se debe verificar que el sistema de medición sea fiable. Para elaborar el plan de recolección se realizó un plan para el procedimiento que conduzca a reunir los datos necesarios para su posterior análisis.

Tabla 6. Verificación del sistema de medición.

¿Qué se mide?	La cantidad de neumáticos defectuosos por empalme lateral abierto en verde reparar y vulcanizados.
¿Cuándo se mide?	La medición de los neumáticos defectuosos diarios por empalme lateral abierto se realizará una vez a la semana, el día viernes, realizándose al final del turno de mañana.
¿Dónde se mide?	Para realizar la recopilación se obtienen de una plataforma online de datos llamada “Nivel 2”.
¿Quién mide?	Los clasificadores de Construcción y Final Finish, serán los encargados de verificar la falla e ingresarla al sistema.
¿Cómo se aplica el instrumento?	El instrumento es de manera visual, tales como lupas o pie de metro calibrado, más bien para medir que los límites de control se encuentren catalogados para la falla en específico.
¿Por qué?	Los datos se registrarán en una computadora que se encuentra a un costado de la zona de inspección para su ingreso a la plataforma.

4.2.3 Determinación de línea base y objetivos de mejora

Se debe obtener datos suficientes con el sistema de medición para establecer una línea base.

4.2.3.1 Determinación de la línea base del proyecto

Se realiza el cálculo de la línea base del proyecto, mediante la media de neumáticos defectuosos entre neumáticos en verde y vulcanizados en los meses de octubre 2017 a marzo 2018, para tener un indicador antes del inicio de las mejoras que se van a probar en la fase analizar.

A continuación, se muestra una tabla resumen de la cantidad promedio de neumáticas defectuosos generados en la máquina constructora, considerando las paradas planta ocurridas en los meses de interés para su debido cálculo:

Tabla 7. Promedio de neumáticos defectuosos por mes.

Mes	Días trabajados	Promedio diario vulcanizado	Promedio diario construido	Promedio total mensual
Octubre	30	15	13	16
Noviembre	27	20	15	20
Diciembre	20	20	16	21
Enero	13	20	17	17
Febrero	20	17	14	14
Marzo	24	18	13	13
Promedio	22	18	15	17

Se observa en la tabla 7 que el mes con menor producción de neumáticos defectuosos, tanto vulcanizados como en verde por el defecto de empalme lateral abierto, es marzo, por otro lado, el mes con mayor producción de neumáticos defectuosos es el de enero, lo que nos deja una base de datos para poder fijar nuestro objetivo de mejora, se debe considerar que al momento de fijar el objetivo solo se puede trabajar con números enteros, ya que estamos hablando de unidades de neumáticos por lo que deben ser aproximados.

4.2.3.2 Determinación del objetivo

Para determinar el objetivo que se quiere obtener como proyecto, se toma como referencia el mes con el resultado más bajo de neumáticos defectuosos del intervalo de tiempo estudiado, debido a que, si ese mes se pudo obtener ese resultado de menor pérdida, en los demás días algo ocurrió que hizo aumentar los neumáticos defectuosos. Siendo el mes de marzo un promediado de 13 [Neumáticos/Día], por lo tanto, el objetivo de mejora para el proyecto será la reducción de 17 [Neumáticos/Día], a 13 [Neumáticos/Día], manteniendo un criterio conservador de 25% de mejora. Con un precio del neumático vulcanizado de 48,86 [USD] y construido de 33,4 [USD], tenemos un promedio de 42,6 [USD], obteniendo un ahorro de 276,8 [USD/Día], y un total de 49.075,2 [USD/Año], mostrado en el siguiente esquema:

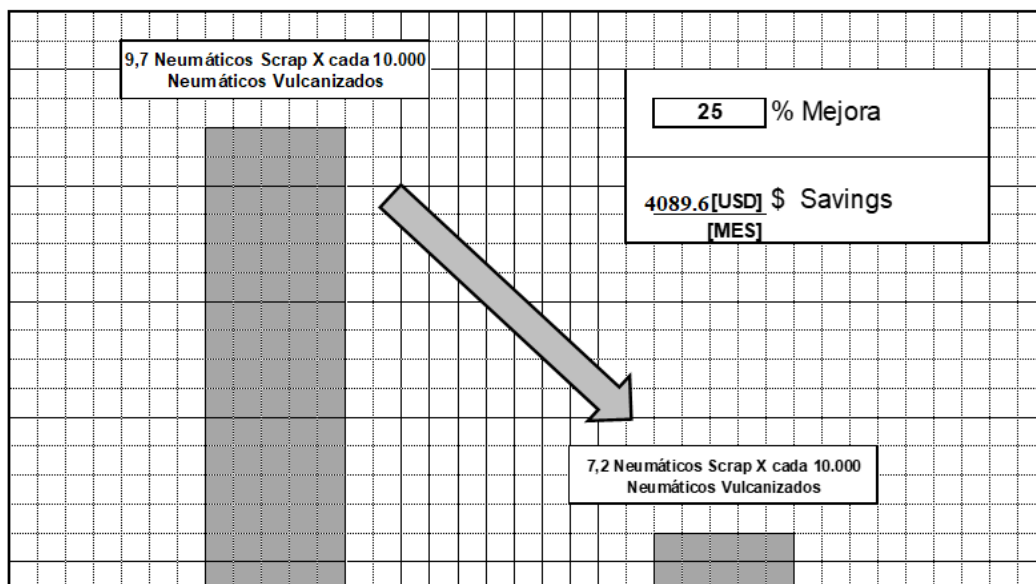


Figura 23. Línea base y objetivos de mejora del proyecto.

Fuente: MILLIKEN. Mejora enfocada manual de campo DMAIC, 2018.

4.2.4 Seguimiento de la medición

La persona responsable en realizar el registro de los neumáticos del defecto en cuestión es el clasificador, sin embargo, el líder del proyecto (Rodrigo Villalobos), busca dichos datos ingresados por el clasificador en una plataforma llamada “Nivel 2”, en la cual se presentan distintos tipos de informes, siendo el necesario para recopilar la cantidad de neumáticos defectuosos en planta el “Defect Data Dump (17150)”. Dicha plataforma permite buscar los neumáticos defectuosos por fecha, filtrado por fecha de entrada o actualizada, tipo de defecto, disposición, tipo de disposición, grupo y segmento del defecto.

En la figura 24, se muestra la plataforma en que se obtiene el reporte de los defectos en planta:

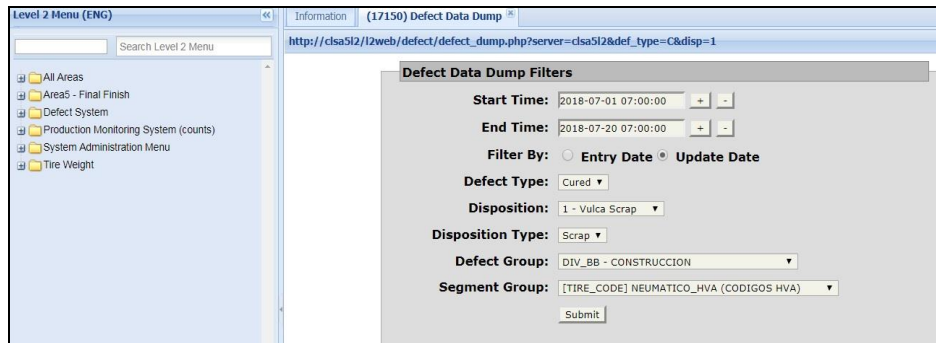


Figura 24. Plataforma de Nivel 2, Defect Data Dump (17150).
Fuente: Material Goodyear.

Esta operación de recolección de datos será realizada una vez a la semana para tener un comportamiento actualizado para las reuniones agendadas de la cantidad de neumáticos defectuosos, los cuales serán registrados mediante una planilla diseñada previamente en el Manual de Campo por la empresa que entrega el servicio (ver Anexo B). Los datos recolectados se imprimirán y serán archivados en el manual de campo del proyecto.

A continuación, se presenta la carta de monitoreo que se actualizó con los datos recolectados entre los meses de enero, febrero y marzo 2018 inicialmente:

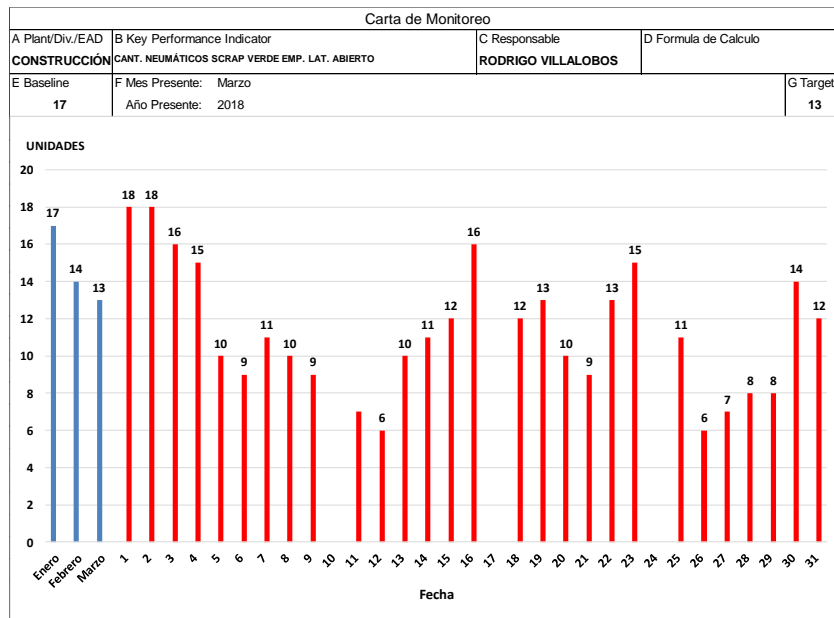


Figura 25. Carta de monitoreo de enero a marzo 2018.

4.3 Analizar

En esta fase los datos recolectados se deben utilizar para el análisis de las potenciales mejoras a implementar.

4.3.1 Determinación de la estrategia de análisis

Se debe desarrollar una estrategia para identificar la causa raíz del problema, utilizando la herramienta necesaria para el análisis del problema, el plan de análisis se muestra a continuación:

4.3.1.1 Plan de análisis

En una primera instancia se realiza un comité de neumáticos scrap por el defecto en cuestión, para poder analizar de manera visual, en dónde exactamente es que se produce con mayor frecuencia el defecto.

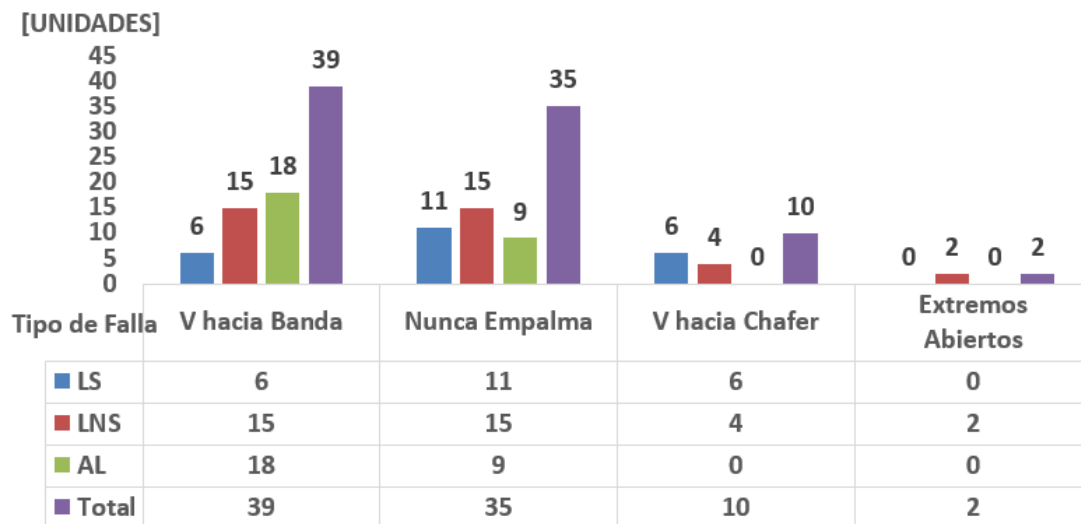


Gráfico 12. Comité de neumáticos defectuosos por empalme lateral abierto.

Donde:

- LS: Lado Serie, lado exterior del neumático ya montado.
- LNS: Lado No Serie, lado interior del neumático ya montado.
- AL: Ambos Lados

Para la realización del plan de análisis se utilizarán distintas herramientas, tales como 5W1H, 6M, para saber en qué componente se debe poner interés para poder analizar el factor de mayor influencia en esta. Además, para el plan de análisis se tendrá en cuenta que, los laterales de los neumáticos están conformados principalmente por caucho sintético por lo que no contienen componentes estructurales de tipo metálicos, y el estiramiento al momento de aplicar el lateral es la causa por la cual se genera el defecto. Es por esto que, distintos parámetros de construcción de la máquina (velocidad de giro tambor [mm/s], aceleración de giro tambor [mm/s²], presión del Multidisk, etcétera), influyen dentro de la variable. Para poder determinar cuál de estas es la más significativa, es que se realizaron experimentos de tipo DOE en ayuda del software Minitab, diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas, para analizar las variables explicadas anteriormente.

4.3.2 Elegir las Herramientas de Análisis para identificar Causa Raíz

Se comienza a dar inicio la generación de ideas, propuestas y opiniones respecto al problema, para ello se ocuparán las herramientas propuestas.

Para explicar el fenómeno se aplicará la herramienta 5W1H, resumida en la siguiente tabla:

Tabla 8. Herramienta 5W1H aplicada.

<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué sucede? 	Empalme del lateral se abre en construcción o en vulcanización.
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuándo ocurre o en qué momento del proceso? 	Al momento de aplicar o vulcanizar el lateral.
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Dónde ocurre el problema o la anomalía? 	En Lateral zona contraria a chafer (pegado a la pestaña).
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Quién lo está haciendo? 	Operadores de área construcción y vulcanización.
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo se diferencia del estado normal? 	Debido al exceso de distancia que existe entre las puntas del lateral.
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Por qué ocurre? 	Excesivo estiramiento en la aplicación.
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuántos recursos se requerirán? 	El proyecto no contempla la utilización de ninguna inversión.

En conjunto con la herramienta desarrollada anteriormente, es que se utilizará la herramienta del diagrama de las 6M para poder llegar al factor que influencia en su mayoría al defecto:

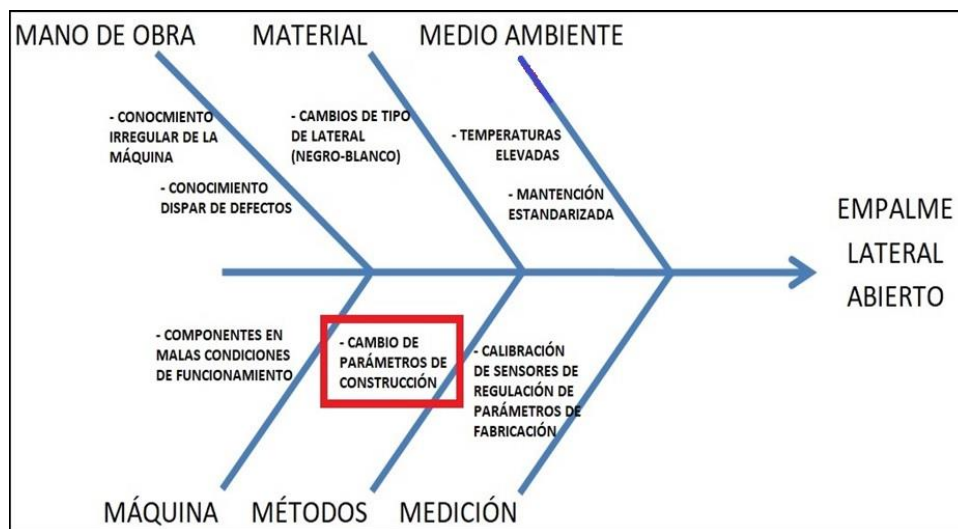


Figura 26. Diagrama de causa-efecto de empalme lateral abierto.

Fuente: Elaborada por el autor.

Con las herramientas utilizadas anteriormente se concluye que los parámetros de construcción son los principales factores del defecto, o los que generan un cambio en este.

4.3.3 Análisis de la causa raíz

Se realiza el estudio del análisis de cuáles son las causas que han dado origen al problema. Se debe determinar de manera precisa la causa raíz para definir las medidas correctivas necesarias para poder solventar el problema o atenuarlo, realizando las actividades necesarias para evitar que el problema regrese en el futuro.

En el gráfico siguiente se especifican las pruebas tomadas en el comité de neumáticos, para poder identificar la zona en la cual se da la falla más regularmente:

4.3.3.1 Diagrama del fenómeno (cómo ocurre el proceso)

El proceso de construcción del neumático cuenta de distintas etapas en su desarrollo, las cuales van trabajando de manera sucesiva, identificando diferentes estaciones y lugares, es por esto que, a continuación, se muestran las distintas partes de la máquina constructora con un layout explicativo de esta, identificando además el servidor del lateral o zona de aplicación del lateral:

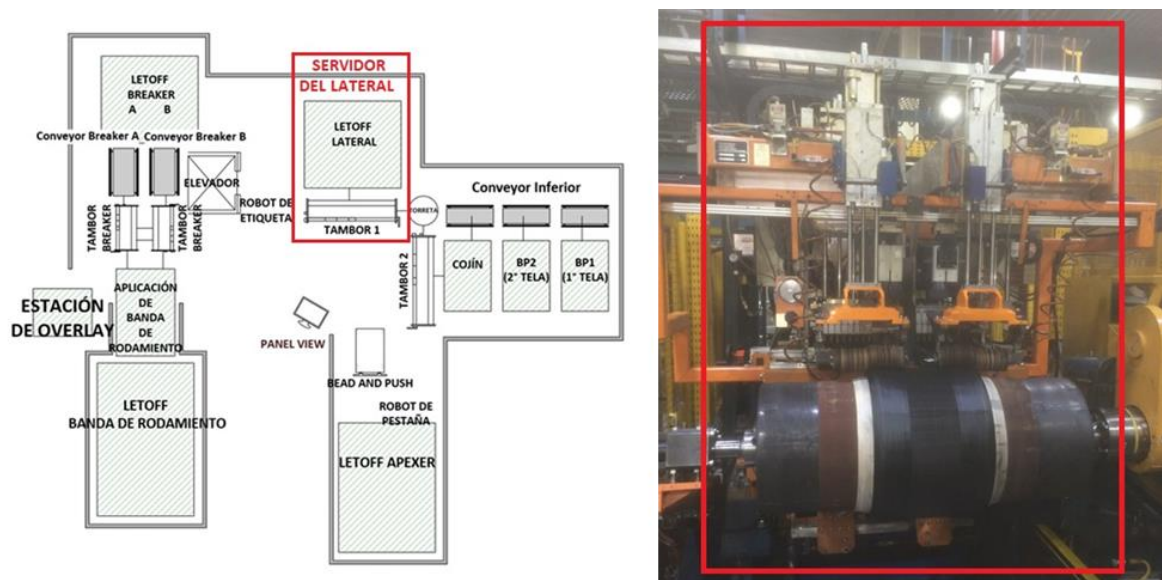


Figura 27. Layout de máquina constructora y servidor del lateral.

Para poder entender el proceso de aplicación del lateral se desarrolló un diagrama del fenómeno en una perspectiva dimétrica, detallado en la siguiente figura:

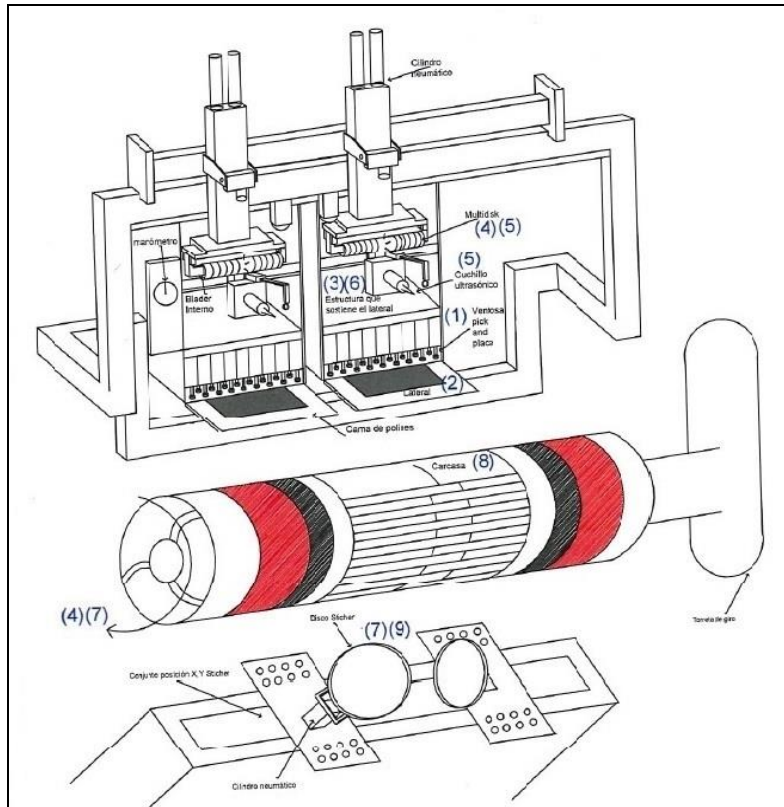


Figura 29. Perspectiva dimétrica del fenómeno.

Fuente: Material Goodyear.

4.3.3.2 Resumen del proceso

1. Pick and Place se mueven hacia adelante.
2. Las ventosas toman el lateral.
3. Toda la estructura que sostiene el lateral se mueve hacia adelante y posiciona el lateral sobre la tela.
4. El multidisk baja y presiona el lateral con la carcasa mientras el “tambor” gira en 315 grados en torno a su eje. (el grado de giro depende de la receta).
5. Finalizado el giro, los cuchillos cortan el lateral y luego el tambor realiza un giro final y el multidisk sella el lateral de acuerdo al recorrido definido.
6. La estructura suelta el lateral y retrocede a su posición inicial.
7. El tambor nuevamente comienza a girar mientras los discos stitcher presionan el chafer y lo sellan.

4.3.3.3 Identificación de la Causa Raíz

La apertura del lateral se debe a:

1. Parámetros de construcción generan un cambio en estiramiento de aplicación del lateral, que al sobrepasar el 5% existe un alto riesgo de abrirse en la construcción o en vulcanización.

4.3.3.4 Plan de análisis DOE

El plan de análisis consiste en un experimento que tiene como objetivo saber cuál de todos los parámetros de construcción de la máquina es el que más afecta al Estiramiento de Aplicación. Por lo que dichas variables serán estudiadas en sus puntos máximos y mínimos de operatividad.

A continuación, se detallan los parámetros de construcción de la máquina que influyen en el estiramiento a analizar:

- **Altura de Mesa:** distancia vertical que existe desde el centro del tambor de aplicación hasta el borde de dicho tambor, en el Anexo D se especifica dentro del estándar de replicación.

A continuación, se muestra un esquema explicativo de la Altura de mesa:

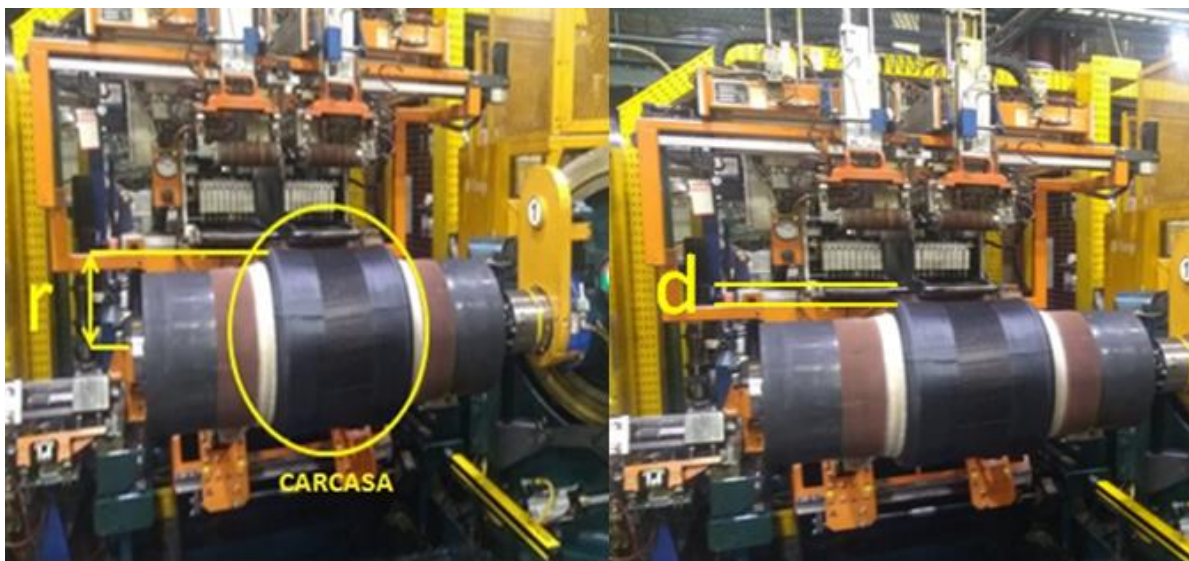


Figura 30. Diagrama explicativo de altura de mesa.

Donde:

r: Radio de carcasa

d: Distancia entre el perímetro de carcasa y la cama de polines

$$\text{Altura de mesa} = r + d$$

- **Altura de Multidisco:** distancia vertical que recorre el cilindro neumático que genera el movimiento del multidisco hacia el tambor de aplicación (carcasa), ajustado por un amortiguador en la parte superior del servidor del lateral.

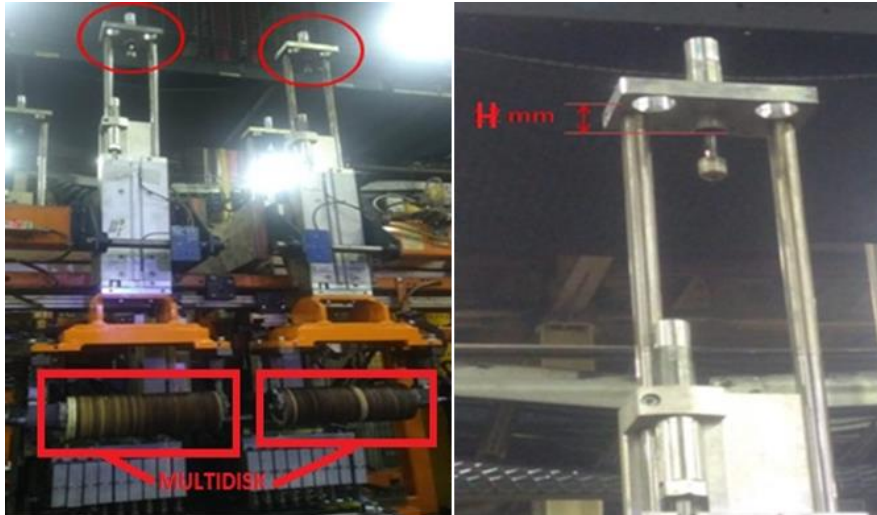


Figura 31. Diagrama explicativo de altura de multidisco.

Donde:

H: Altura de Multidisco

- **Presión de Aplicación:** presión ejercida por el bladder interno del multidisk, la cual se transmite hacia el lateral, al momento de aplicar el lateral en todo el perímetro del tambor.
- **Aceleración de Aplicación:** aceleración tangencial al tambor, que permite obtener la velocidad de aplicación de este partiendo desde el equilibrio.
- **Velocidad de Aplicación:** velocidad tangencial que se genera al girar el tambor al momento de aplicar.
- **Estiramiento de Tambor (Stretch de Tambor):** relación existente entre la velocidad tangencial del tambor y la velocidad del transportador del material al ser aplicado, a continuación, se muestra un dibujo a modo explicativo:

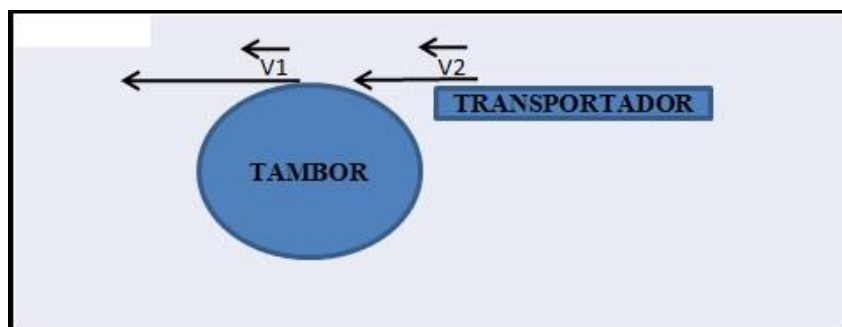


Figura 32. Figura explicativa estiramiento de tambor.

Donde:

V1: Velocidad tangencial de tambor; V2: Velocidad de transportador del material

Dicha relación debe estar entre el rango (1,5)[%], para un correcto funcionamiento.

Finalmente, con las variables descritas anteriormente se realizan una serie de pruebas en las cuales se visualizan los cambios de las variables dentro de los rangos de funcionamiento establecidos, para determinar cuál de estas en la que tiene mayor preponderancia dentro del estiramiento. Para poder determinar cuál de estas es la más significativa, es que se realizaron corridas de experimentos en ayuda del software Minitab, diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas, para analizar las variables explicadas anteriormente.

4.3.3.4.1 Recolección de datos

Se procede a realizar distintos experimentos aleatorios en dos grupos de tres variables cada uno, divididos de forma tal que las variables (factores) se relacionen lo más parecido posible en sus magnitudes.

En la tabla siguiente se especifican los valores de los distintos niveles para cada una de las variables que afectan al estiramiento de aplicación.

Tabla 9. Factores y niveles de experimento.

Fuente: elaborada por el autor.

PRUEBA	GRUPO	FACTOR A	FACTOR B	FACTOR C	DETALLE	
	1	Velocidad de Aplicación [$\frac{mm}{s}$]	Altura de Mesa [mm]	Presión de Aplicación [bar]	A-=350 B-=0 C-=0,5	A+=550 B+=16 C+=2
	2	Estiramiento de Tambor (-)	Altura de Multidisk [mm]	Aceleración de Aplicación [$\frac{mm}{s^2}$]	A-=0 B-=5 C-=300	A+=1,5 B+=16 C+=500
1		-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • C está a nivel -. • A está 2 veces -. 2 veces +. • B está 2 veces -. 2 veces +. 	
2		+	-	-		
3		-	+	-		
4		+	+	-		
5		-	-	+	<ul style="list-style-type: none"> • C está a nivel +. • A está 2 veces -. 2 veces +. • B está 2 veces -. 2 veces +. 	
6		+	-	+		
7		-	+	+		
8		+	+	+		

Diseño: Variedad de "tratamientos"

Donde:

Nivel -: límite inferior de la variable o factor.

Nivel +: límite superior de la variable o factor.

Luego de haber definido los valores de las distintas variables a ensayar en ambos tambores de aplicación de la máquina para eliminar errores de procedimiento y calibración, se procede a realizar dicho experimento, para poder analizar la variable respuesta (estiramiento de aplicación) de estos factores.

En la figura 33 se muestran los lados y sectores en donde se realizaron las mediciones del lateral:

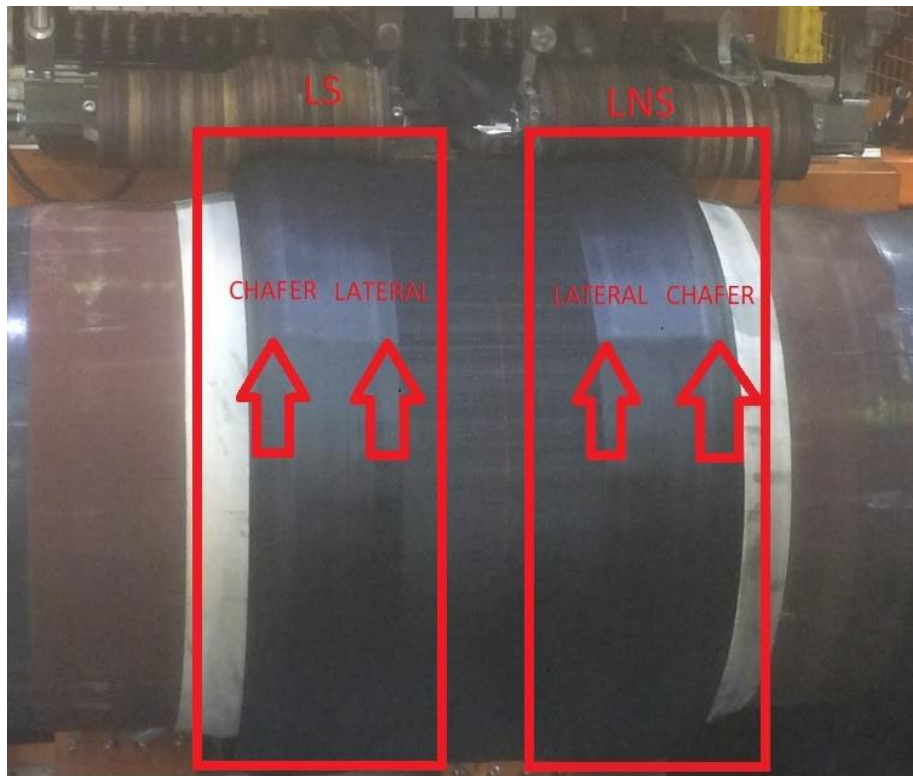


Figura 33. Lugares y sectores de medición de estiramiento de aplicación.

Donde:

Lado Serie (LS): medición de estiramiento de aplicación realizada en el lateral externo una vez construido y montado el neumático en la llanta, que presenta los códigos de este.

Lado No Serie (LNS): medición de estiramiento de aplicación realizada en el lateral interno una vez construido y montado el neumático en la llanta, que no presenta ningún código.

Chafér: medición de estiramiento de aplicación realizada en el sector donde se encuentra la pestaña.

Lateral: medición de estiramiento de aplicación realizada en el sector contrario a la pestaña o donde se encuentra la banda de rodamiento, luego de finalizada la etapa de construcción.

Los resultados del DOE desarrollado en Minitab se muestran en las tablas 10 y 11 a continuación:

Tabla 10. Resultados experimento grupo 1.

Exp.	Velocidad App. [mm/s]		Presión App. [Bar]		Alt. Mesa [mm]		LS	Promedio LS	LNS	Promedio LNS	PROMEDIO GENERAL	Sector
1	550	+	2	+	20	+	9	7	7	5,5	6,25	Chafer
							5		4			Lateral
2	550	+	2	+	4	-	11	9,5	10	9	9,25	Chafer
							8		8			Lateral
3	550	+	0,5	-	20	+	7	6	7	6	6	Chafer
							5		5			Lateral
4	550	+	0,5	-	4	-	10	8,5	9	8	8,25	Chafer
							7		7			Lateral
5	350	-	2	+	20	+	10	8,5	8	7	7,75	Chafer
							7		6			Lateral
6	350	-	2	+	4	-	12	11	10	9	10	Chafer
							10		8			Lateral
7	350	-	0,5	-	20	+	8	6	7	5	5,5	Chafer
							4		3			Lateral
8	350	-	0,5	-	4	-	8	8	10	10	9	Chafer
							8		10			Lateral

Donde:

Exp.: abreviación de la palabra “experimento” o sinónimo de prueba.

Velocidad App.: Velocidad de Aplicación.

Presión App.: Presión de Aplicación.

Alt. Mesa: Altura de Mesa.

Promedio LS: promedio de las mediciones realizadas en el Lado Serie del lateral entre el sector chafer y lateral.

Promedio LNS: promedio de las mediciones realizadas en el Lado No Serie del lateral entre el sector chafer y lateral.

Promedio General: promedio de las mediciones entre el Lado Serie, Lado No Serie, sector chafer y lateral.

Tabla 11. Resultados experimento grupo 2.

Exp.	Alt. Mult. [mm]	Est. Tam. [%]	Acel. App. [mm/s ²]	LS	Promedio LS	LNS	Promedio LNS	PROMEDIO GENERAL	Sector			
1	8	+	1,5	+	500	+	9	9,5	7	6,5	8,0	lateral
							10		6			Chafer
2	8	+	1,5	+	300	-	7	8	7	7	7,5	lateral
							9		7			Chafer
3	8	+	0	-	500	+	6	7	5	7	7,0	lateral
							8		9			Chafer
4	8	+	0	-	300	-	7	8	5	6,5	7,3	lateral
							9		8			Chafer
5	2	-	1,5	+	500	+	6	8	7	8	8,0	lateral
							10		9			Chafer
6	2	-	1,5	+	300	-	7	8,5	7	8,5	8,5	lateral
							10		10			Chafer
7	2	-	0	-	500	+	8	9,5	7	8,5	9,0	lateral
							11		10			Chafer
8	2	-	0	-	300	-	8	8	9	10	9,0	lateral
							8		11			Chafer

Donde:

Exp.: abreviación de la palabra “experimento” o sinónimo de prueba.

Alt. Mult.: Altura de Multidisk.

Est. Tam.: Stretch de Tambor.

Acel. App.: Aceleración de Aplicación.

Promedio LS: promedio de las mediciones realizadas en el Lado Serie del lateral entre el sector chafer y lateral.

Promedio LNS: promedio de las mediciones realizadas en el Lado No Serie del lateral entre el sector chafer y lateral.

Promedio General: promedio de las mediciones entre el Lado Serie, Lado No Serie, sector chafer y lateral.

A continuación, se muestran los efectos principales en la variable de respuesta (**estiramiento de aplicación**), producidos por los distintos factores, de manera gráfica con ayuda del software Minitab. Se debe tener en consideración que, cuando la línea no es horizontal, entonces hay un efecto principal. Los diferentes niveles del factor afectan la respuesta de manera diferente. Mientras más inclinada sea la pendiente de la línea, mayor será la magnitud del efecto principal.

Los efectos producidos por los factores del grupo 1 se representan en el gráfico 13 a continuación:

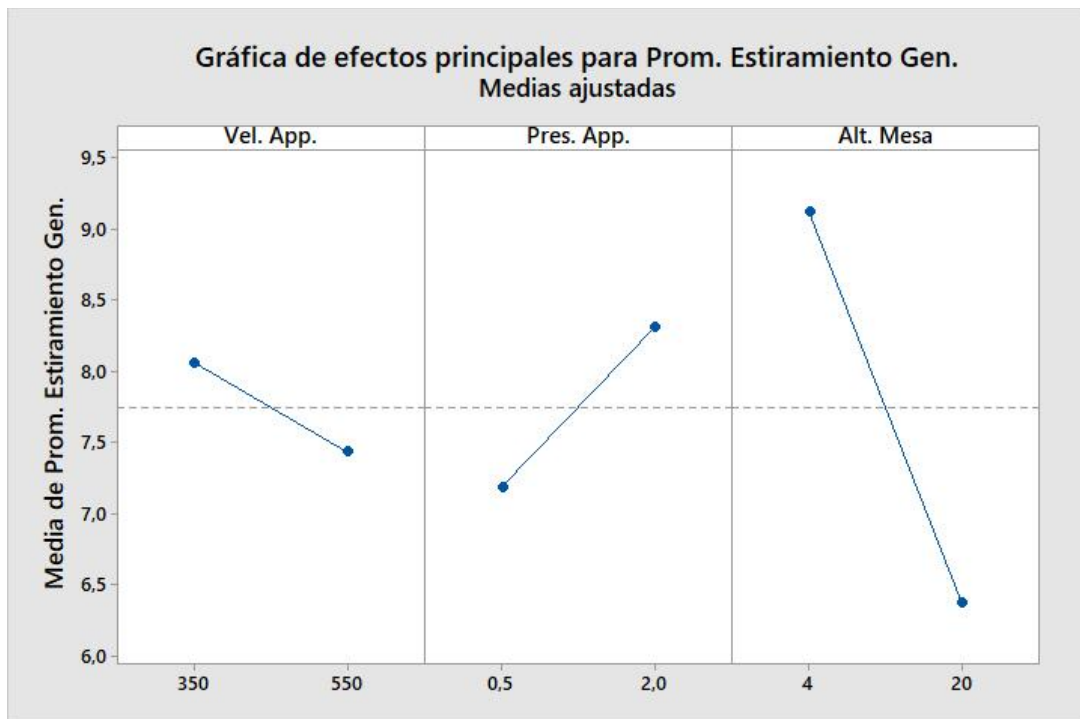


Gráfico 13. Efectos principales en estiramiento de aplicación, grupo 1.

Donde:

Vel. App.: Velocidad de Aplicación.

Pres. App.: Presión de Aplicación.

Alt. Mesa: Altura de Mesa.

Media de Prom. Estiramiento Gen.: Promedio de Estiramiento de Aplicación en ambos lados y sectores.

Con lo observado en el gráfico 13 se detallan las siguientes conclusiones:

- La Altura de Mesa es la variable que tiene más influencia en el Estiramiento de Aplicación, en ambos lados y sectores. Sucesivamente, la Presión y la Velocidad de Aplicación son las más influyentes respectivamente.

- El aumento de la Altura de Mesa nos permite reducir lo más posible el Estiramiento de Aplicación del lateral, al igual que la Velocidad de aplicación, pero en menor medida, y viceversa para la Presión de Aplicación, la cual debe estar al mínimo para reducir el Estiramiento de Aplicación.

Los efectos producidos por los factores del grupo 2 se representan en el gráfico 14 a continuación:

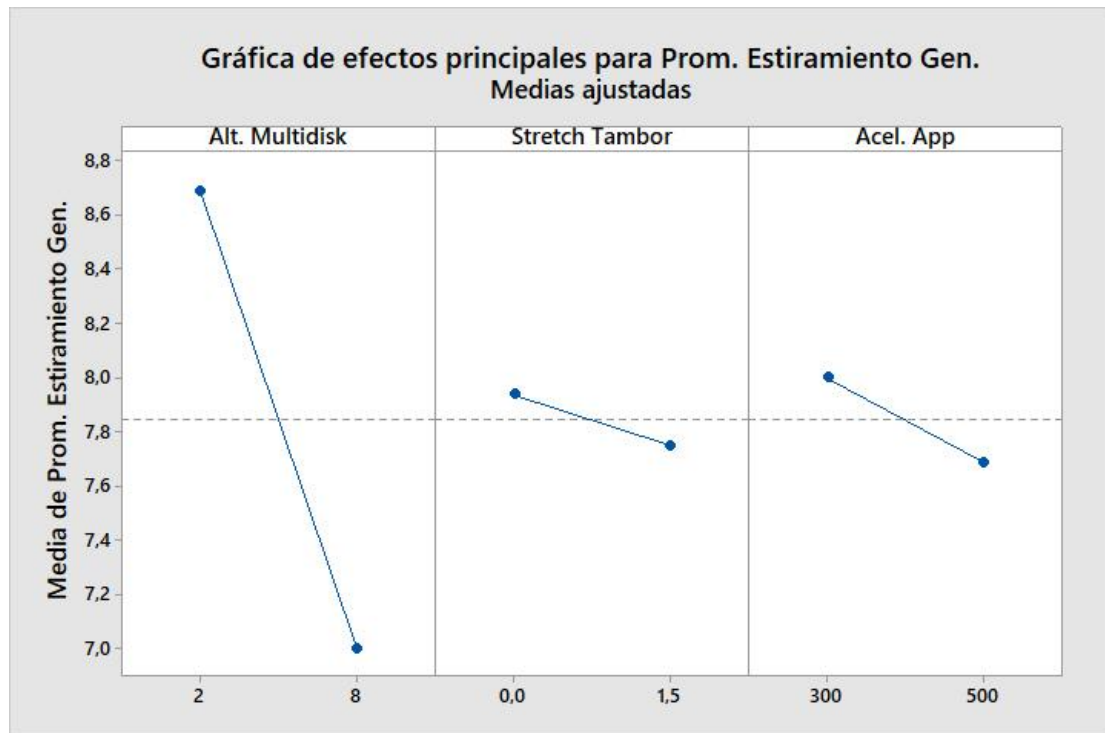


Gráfico 14. Efectos principales en estiramiento de aplicación, grupo 2.

Donde:

Alt. Multidisk.: Altura de Multidisco.

Stretch Tambor: Estiramiento de Tambor.

Acel. App.: Aceleración de Aplicación.

Con respecto al gráfico 14 se obtienen las siguientes conclusiones:

- La Altura de Multidisco es la variable más influyente en el Estiramiento de Aplicación, en ambos lados y sectores, sucesivamente la Aceleración de Aplicación y el Estiramiento de Tambor influyen, pero en menor cantidad.
- Al aumentar la Altura de Multidisco se reduce el Estiramiento de Aplicación, en ambos lados y sectores, al igual que con la Aceleración de Aplicación y el Estiramiento de Tambor, sin embargo, en menor medida.

4.3.4 Posibles soluciones

Se priorizan las potenciales soluciones para eliminar la causa raíz del problema o poner bajo control la variable. Por lo que, se realiza preponderancia de las mejoras a realizar, clasificándolas según el tipo de solución, su nivel de impacto y dificultad de poder implementar.

Tabla 12. Prioridades y niveles de solución.

Niveles de soluciones:		1 Entrenar	3 Controles Visuales	5 Automatización
		2 Auditar	4 Mistake Proof	6 Eliminar la Tarea
Impacto: 1- Bajo 2- Medio 3- Alto		Dificultad: 1- Semanas 2- Días 3- Horas		
A	B	C	D	E
Acciones	Nivel	Impacto	Dificultad	Rank
	1,2,3,4,5,6	1,2,3	1,2,3	B x C x D
Instalación de encoder para control de parámetros de construcción.	5	2	1	10
Calibración de altura de mesa de aplicación del lateral.	1	3	3	6

4.4 Implementar

Se establecen las soluciones que sanarán la causa raíz del problema identificado o una parte de ella con las contramedidas ya implementadas. Los resultados obtenidos en las intervenciones se compararán con los datos históricos y ver el cambio que generaron las mejoras.

4.4.1 Plan de Acción

Las contramedidas tienen responsables para su ejecución, al igual que una fecha límite para estos.

En la tabla a continuación se exponen los distintos planes de acción que se proponen para poder mantener la mejora y que el defecto siga disminuyendo.

Tabla 13. Plan de acción.

¿Qué?	¿Quién?	¿Cuándo?	¿Cómo? ¿Por qué? ¿Dónde? ¿Cuánto?
Procedimiento de replicación control de parámetros de construcción.	Rodrigo Villalobos	1 semana	Se llevará el control diario de las calibraciones que registrarán los liberadores al momento de comenzar el turno, para poder mantener la mejora implementada.
Modificación planilla de inspección “Ajuste de cama de polines”	Mecánicos de mantención	1 semana	Se procederá a cambiar la planilla para se cambien los polines defectuosos y coloquen los faltantes, para que el proceso de construcción trabaje con las especificaciones correctas.
Modificación en chequeo de liberación máquina constructora	Rodrigo Villalobos	1 semana	Se modificará el chequeo de liberación de las máquinas constructoras, para poder mantener la mejora implementada.
Realización de LUP distintiva de falla	Rodrigo Villalobos	3 días	Se realizará una Lección de Un Punto para ser procesada en el área de construcción y poder diferenciar la falla, ya que puede generar problemas en su detección.

Los distintos planes de acción se encuentran de manera gráfica en los anexos D, E, F y G.

4.4.2 Seleccionar las acciones a mantener

Se verifica la efectividad de las medidas tomadas y se verifican los ahorros. Para la verificación de las medidas tomadas se responderán las siguientes preguntas.

4.4.2.1 ¿Que se logró mejorar?

Con la aplicación sistemática de la metodología DMAIC se logró disminuir de 17 a 9 $\left[\frac{\text{Neumáticos}}{\text{Día}}\right]$, lo que equivale a una reducción del 52,9% de la producción defectuosa de lateral abierto construido.

4.4.2.2 ¿Cuáles fueron los ahorros proyectados?

17 [Neumáticos/Día], a 9 [Neumáticos/Día], manteniendo un criterio conservador de 25% de mejora.

4.4.2.3 ¿Cuáles fueron los gastos incurridos? (piezas, mano de obra, materiales)

Mano de obra.

4.4.2.4 ¿Cuáles son los ahorros reales?

$$(17 [\text{neumáticos}] - 9 [\text{neumáticos}]) * 34,6 \left[\frac{\text{USD}}{\text{neumático}}\right] = 276,8 \left[\frac{\text{USD}}{\text{día}}\right]$$

4.4.2.5 ¿Cuáles son los ahorros reales anualizados?

$$\text{Ahorro anual} = 276,8 [\text{USD}] * 324 [\text{Días}] = 89.683 [\text{USD}]$$

4.4.2.6 ¿Posible replicación?

El proyecto considera la replicación para todas las máquinas constructoras, ya que el proyecto se origina en el área de construcción.

4.4.3 Resultados deseados

Los resultados han sido mejores que los objetivos fijados por el equipo al inicio del proyecto, teniendo de línea base 17 $[\frac{\text{neumáticos}}{\text{día}}]$ con una meta de reducción del 25% de los neumáticos defectuosos, equivalente a 13 $[\frac{\text{neumáticos}}{\text{día}}]$ lo que suponía un ahorro de 130,6 [USD/Día], sin embargo, los valores fueron mejores de lo presupuestado, ya que se logró reducir un 52.9% los neumáticos defectuosos, equivalente a 9 $[\frac{\text{neumáticos}}{\text{día}}]$ que significa un ahorro de 276,8 [USD/día], lo que permite concluir que el proyecto es satisfactorio, teniendo en consideración no existe inversión.

En el Anexo B se muestra los cambios en las cantidades de neumáticos defectuosos de manera gráfica con respecto al tiempo.

5. Conclusiones y Sugerencias

Se observa que al realizar la aplicación de la herramienta DMAIC se logra definir los límites del problema, tales como el departamento, área, división y máquina en donde se está generando mayor cantidad del defecto, se mide la línea base del proyecto y el objetivo a lograr con el mismo, se analizan las posibles causas que originan el problema y se proponen alternativas de solución, para después implementar las que permitan reducir el defecto.

Se concluye que la aplicación de manera ordenada de la metodología DMAIC permite resolver problemas con causa raíz desconocida y solución desconocida, obteniendo objetivos como la reducción de neumáticos defectuosos por defecto de lateral abierto con una reducción de 276,8 [$\frac{USD}{Día}$], y asegurando la sostenibilidad a través del tiempo. Considerando que el proyecto es libre de inversiones, solo utilizando mano de obra con herramientas de medición, experimentales y resolutivas.

Para futuros trabajos de título se sugiere considerar los distintos factores que pueden afectar los procesos, tales como el medio ambiente, la mano de obra, la metodología y la comunicación de los distintos niveles de trabajo, ya que pueden ser definitivos al momento de realizar una operación, esta sea de medición, bloqueo o mejora, pueden generar problemas y tardanza en los plazos de entrega establecidos originalmente.

Para que un alumno realice un trabajo como este, debe considerar que la medición del Indicador Clave de Rendimiento (KPI), no siempre es verídica, a pesar de que sea entregada por un software. Es en el caso de este trabajo de título que se generó un problema debido a que se estaba confundiendo el defecto de “empalme lateral abierto” por el de “corte de cuchillo irregular” al momento de revisar los neumáticos defectuosos por parte del clasificador, el cual lo ejecuta mediante un análisis visual. Es por esto que se tuvo que realizar un reporte de tipo Lección de Un Punto (LUP), para diferenciar la falla mal asignada como se muestra en el Anexo G “Identificación de falla corte de cuchillo irregular”.

Para la aplicación correcta de la herramienta DMAIC se deben ir cumpliendo las distintas fases de esta de manera ordenada, sin avanzar a la siguiente etapa, lo que no permite un trabajo rápido en gran parte del tiempo, debido a que usualmente la resolución intuitiva de problemas tiende a empezar la etapa Analizar sin haber definido y establecido las bases del problema, y de manera consecutiva no se generan las respuestas que el análisis debiera establecer. Es por esto, se concluye que, a pesar de ser una metodología rígida, si no se ejecutan los pasos correspondientes en el tiempo correspondiente no se puede aplicar la misma.

6. Bibliografía y Referencias

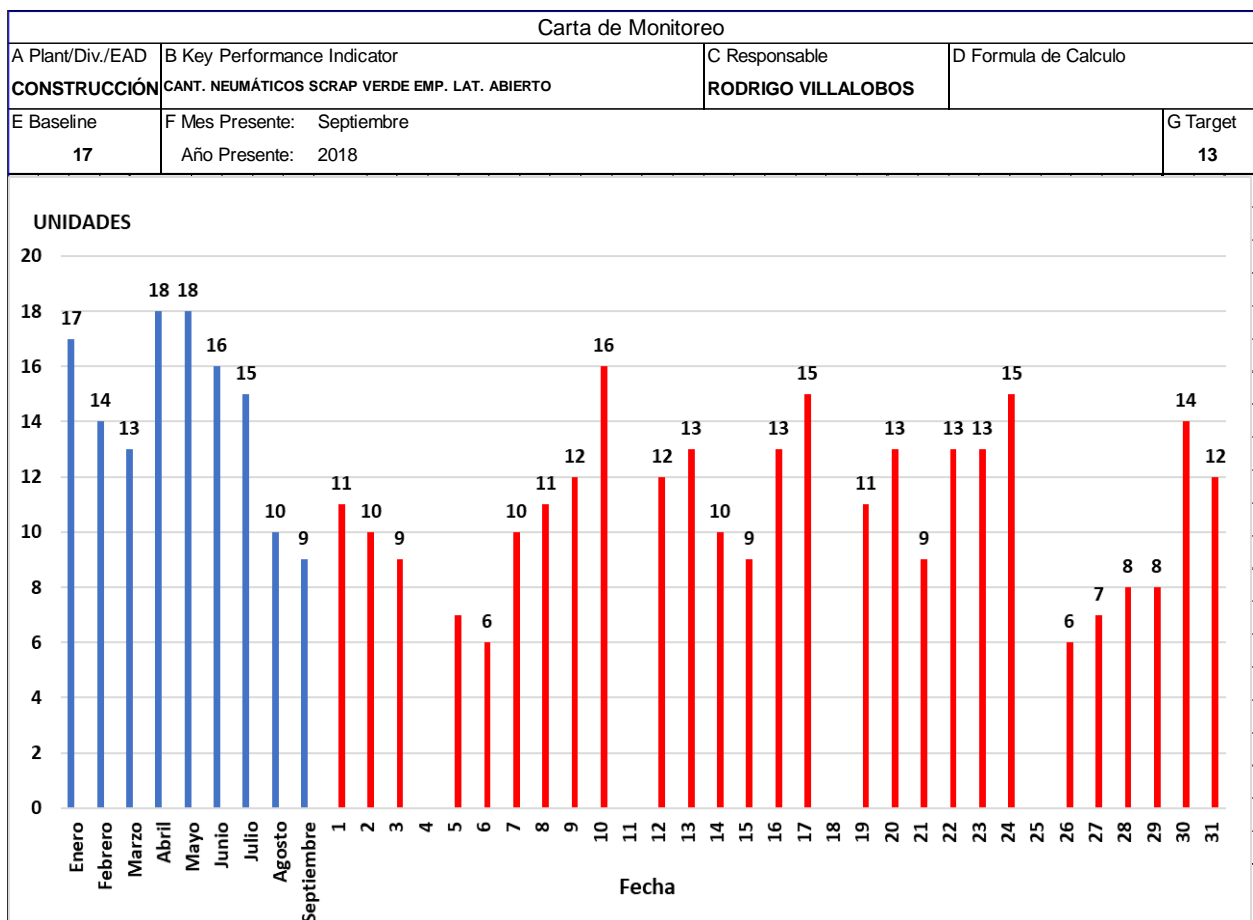
- [1] Goodyear, Chile. Charles Goodyear [en línea]
<http://www.goodyear.cl/comp_info/did_you_know/charles_goodyear.html> [Consultado: 28 Julio 2018].
- [2] Goodyear, Corporate, Global Presence [en línea].
<<https://corporate.goodyear.com/en-US/about/global.htm>> [Consultado: 30 julio 2018]
- [3] CASTRO, Guillermo. Materiales y compuestos para la industria del neumático. 2008
- [4] Seis Sigma (Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2000)
- [5] Barba, Eric. Boix, Francesc. Cuatrecasas, Lluís. (2000). “Seis Sigma, Una iniciativa de Calidad Total”. Ediciones Gestión 2000, S.A.. Barcelona, España. [Consultado: 01 agosto 2018].
- [6] ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, Industrias Químicas, Industria del Caucho, Louis D. Beliczky y John Fajen.
- [7] Manuales Internos Goodyear.
- [8] DOE, Soporte Minitab, <<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/getting-started/designing-an-experiment/>> [Consultado: 08 agosto 2018].
- [9] MILLIKEN. Mejora enfocada manual de campo DMAIC, 2018.
- [10] Canavos, G. (1993). Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y métodos. McGraw-Hill. México.
- [11] Yang, C. C. (2004). Multivariate statistical methods an Six Sigma. Volumen uno. Número uno.
- [12] UNIT. Herramientas para la mejora de la calidad, Uruguay, 2009.
- [13] Ingle, S. & Roe, W. (2001). Six Sigma. Black Belt implementation. Volumen trece. Número cuatro.
- [14] Pande, Peter S., Neuman, Robert P., Cavanagh, Roland R., The SIX SIGMA WAY. How GE, Motorola, and other top companies are HONING THEIR PERFORMANCE, McGraw Hill, USA, 2000.
- [15] THE GOODYEAR TIRE & RUBBER COMPANY. Tire Building Machine Manual, Akron.

Anexos

Anexo A Carta Gantt de las actividades del proyecto.

Actividad	Año 2018 [Meses]																			
	Abril	Mayo					Junio				Julio				Agosto					
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Definir																				
Alcances del proyecto																				
Problema acotado																				
Condiciones actuales																				
Medir																				
Procedimiento medición																				
Medición actual																				
Objetivo de proyecto																				
Analizar																				
Estudio datos recolectados																				
Estudio de causa raíz																				
Selección de herramientas																				
Implementar																				
Evaluación de resultados																				
Diseño de soluciones																				
Aplicación de soluciones																				











Anexo B Carta de monitoreo KPI.



Anexo C Carta resumen detalles neumáticos defectuosos.

Num	Entry Date	Def Type	Def Num	Def Desc	Regional Def Num	Disp Num	Disp Desc	Barcode	Classifier	Update Date	Comments	Tire Code	Press	Cure Date	Cure Day	Cure Week	Cure Month	Press Tender	Stage 2 Builder	Stage 2 TBM	Stage 2 Date
1	6/1/2018 8:43	C	601	AMPOLLA EN PESTANA	61	1	Vulca Scrap	3351274850	AA32307	6/1/2018 8:43	lss	R12JK1	420	6/1/2018 6:47	152	22	6	AA30793	AA91330	HF303	5/31/2018 11:07
2	6/1/2018 11:46	C	601	AMPOLLA EN PESTANA	61	1	Vulca Scrap	3351274901	AA30746	6/1/2018 11:46		R12JK1	420	6/1/2018 9:32	152	22	6	AA30886	AA91330	HF303	5/31/2018 12:51
3	6/2/2018 4:20	C	601	AMPOLLA EN PESTANA	61	1	Vulca Scrap	3351323090	NSA9174	6/2/2018 4:20		R2YKY1	129	6/2/2018 2:32	153	22	6	AA30791	AA07034	HF205	6/2/2018 0:32
4	6/1/2018 15:38	C	601	AMPOLLA EN PESTANA	61	1	Vulca Scrap	3348184772	NSA8264	6/1/2018 15:38		R6VIV1	127	6/1/2018 13:10	152	22	6	AA30826	AA71575	HF306	5/30/2018 14:50
5	6/1/2018 15:45	C	603	COVERSTRIP IRREGULAR	402	1	Vulca Scrap	3352138014	NSA8264	6/1/2018 15:45		RC8JC1	520	6/1/2018 11:59	152	22	6	AA17367	AA30067	HF506	5/31/2018 14:22
6	6/2/2018 2:04	C	801	AIRE ATRAPADO	1230	1	Vulca Scrap	3351274112	NSA9174	6/2/2018 2:04		R76JL1	603	6/1/2018 23:19	152	22	6	AA30898	AA76639	HF303	5/30/2018 8:15
7	6/1/2018 12:36	C	1401	ARRUGA DE APEX	147	1	Vulca Scrap	3348338843	AA32307	6/1/2018 12:36	nss	R8TJA2	415	6/1/2018 11:10	152	22	6	AA30886	AA07036	HF204	4/25/2018 21:45
8	6/1/2018 13:33	C	1402	SEPARACION DE APEX	142	1	Vulca Scrap	3351259772	AA32307	6/1/2018 13:33	nss	R2YKY1	212	6/1/2018 12:03	152	22	6	AA30826	AA07036	HF103	6/1/2018 10:08
9	6/2/2018 3:04	C	1402	SEPARACION DE APEX	142	1	Vulca Scrap	3352166516	NSA9174	6/2/2018 3:04		R7AJW1	540	6/2/2018 1:32	153	22	6	AA87444	AA07063	HF202	6/1/2018 16:42
10	6/1/2018 17:47	C	1402	SEPARACION DE APEX	142	1	Vulca Scrap	3351339825	NSA8264	6/1/2018 17:47	top	R9CIB1	102	6/1/2018 16:27	152	22	6	AA30787	AA23383	HF403	6/1/2018 6:47
11	6/1/2018 7:16	C	1402	SEPARACION DE APEX	142	1	Vulca Scrap	3352163681	AA32307	6/1/2018 7:17	nss	R76JL1	513	6/1/2018 5:56	152	22	6	AUTO	AA01169	HF101	6/1/2018 0:59
12	6/1/2018 21:55	C	1501	EMPALME DE APEX ABIERTO	142	1	Vulca Scrap	3351274375	NSA8264	6/1/2018 21:55	top	R12JK1	438	6/1/2018 19:45	152	22	6	AA44865	AA06981	HF303	5/30/2018 19:20
13	6/2/2018 3:05	C	1501	EMPALME DE APEX ABIERTO	142	1	Vulca Scrap	3351274573	NSA9174	6/2/2018 3:05		R12JK1	438	6/2/2018 1:22	153	22	6	AA30793	AA16095	HF303	5/31/2018 1:54
14	6/1/2018 19:12	C	1501	EMPALME DE APEX ABIERTO	142	1	Vulca Scrap	3352166497	NSA8264	6/1/2018 19:12	top	R7AJW1	620	6/1/2018 18:01	152	22	6	AA30875	AA07063	HF202	6/1/2018 16:11

Anexo D Procedimiento de replicación para control de parámetros de construcción.

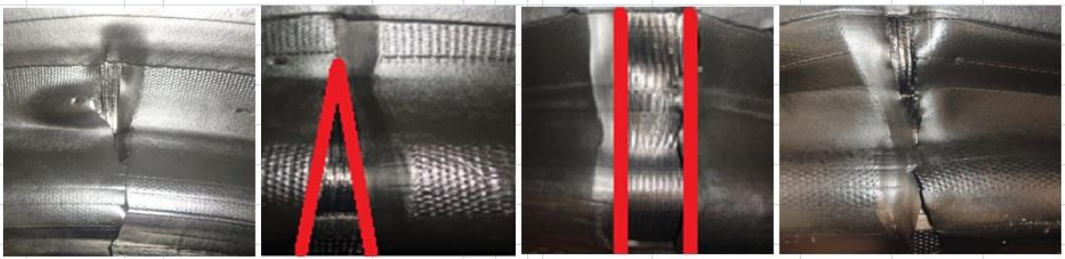
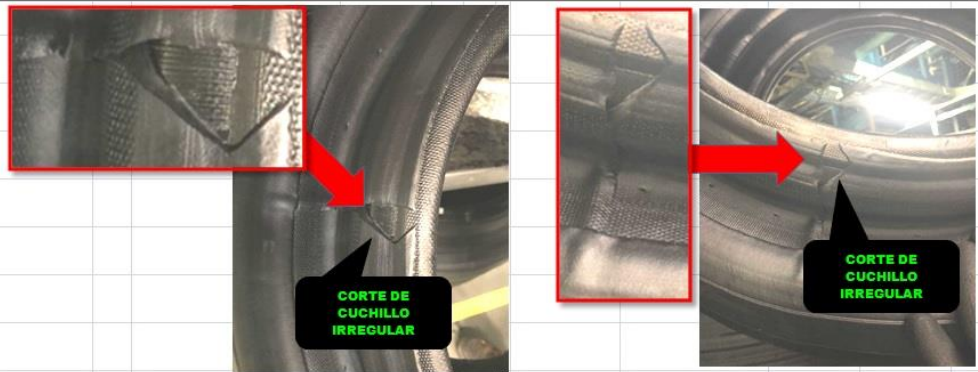
INSTRUCCIÓN DE TRABAJO ESTANDAR					
Instrucción de Trabajo Estándar:	Este servidor lateral por DMAIC Empalme Lateral Abie	Creado por (Nombrar Líder y Equipo CSI)	Tire Assembly Team		
Centro de Trabajo y Número de Máquina:	Tire Building Machine	Número de Instrucción de Trabajo #			
Aprobado por Producción:		Fecha Aprobación: (MM/DD/YYYY)			
Aprobado por Seguridad:		Fecha de Revisión: (MM/DD/YYYY)			
Aprobado por Calidad:		Número de Revisión: (Original or Rev No)	1		
EPP Requerido:					
PROCESO	SEGURIDAD	Q	CALIDAD	MEDIO AMBIENTE	
PASO	ACCION	TIEMPO	FOTOGRAFIA	SEÑALÉTICA REQUERIDA	PUNTOS CLAVE
1	Verificar que hiperdrive de mesa SW se encuentre calibrado correctamente				Medir perímetro de tambor expandido para obtener "r", luego medir distancia de tambor al servidor "d" para obtener altura real $Altura\ real = r + d$ A continuación, comparar Altura real con valor entregado en pantalla, en caso de no ser iguales, corregir dejando selector hiperdrive en OFF, activando calibración y cambiar valor de referencia en data consola por Altura real, cuando nominal position tome el valor que se ingresó en data consola, la calibración es correcta
2	Ajustar valores de presión de bladder Multidisk				Se debe ajustar valores de presión de aplicación (aply press) en 0.10 y sellado (splice press) en 1.50, y repetir en lado contrario, tal como se muestra en la fotografía
3	Realizar bloqueo de energías máquina constructora				Al realizar el ajuste mecánico se debe realizar el bloqueo de las energías asociadas
4	Ajustar posición de amortiguador Multidisk del lateral a 12 [mm]				Se debe ajustar amortiguador del lado izquierdo como el derecho, como se muestra en fotografía
5	Ajustar posición de polín tipo nuez como se muestra en fotografía				Este polín se encuentra en la parte posterior del servidor de lateral, por donde ingresa el lateral al servidor, instalar los polines en la parte del soporte interior del polín, el cual está señalado en la fotografía

Anexo F Modificación planilla de inspección “Ajuste de cama de polines”.

Planilla de Inspección																	
Zona	Sub Sistema	Detalle Sub Sistema	Fecha	Turno	Realizado por	Fugas de Aire	Fugas de Aceite	Exceso de Grasa	Desgaste de Material	Ruidos (normales)	Piezas Sueltas	Piezas Dañadas	Housekeeping	Observación	Tarjeta		
																ok	v
1	Banda	Cuchillo Ultrasonico		1er													
		Polin Blanco (Condición)		1er													
		Polines Metalicos Aplicador		1er													
		Sensor Corte y sensor Ball Up		2do													
2	Overlay	3 Plato descargador	Lateral	condición cadena Igu													
				Pernos de tope (posic. Horizontal)													
				Presión de manometro subida de Plato													
				Exceso de grasa en riel y fijación de sensores													
3	Breaker	3 Plato descargador	Lateral	Condición airflex lettoff (material y liner)													
				Amortiguador y tope de lettoff													
				Ventosas, topes ventosas, cuchillos, amortig.													
				Polines tipo nuez parte posterior servidor													
3	Lateral	3 Plato descargador	Lateral	cama de polines servidor													
				Condición airflex lettoff (material y liner)		2do											
				Amortiguador y tope de lettoff		3er											
				Ventosas, topes ventosas, cuchillos, amortig.		3er											
3	Lateral	3 Plato descargador	Lateral	Polines tipo nuez parte posterior servidor													
				cama de polines servidor		3er											
				Condición airflex lettoff (material y liner)		2do											
				Amortiguador y tope de lettoff		3er											

• Se especifica un ítem exclusivo para revisar la cama de polines del servidor del lateral.

Anexo G Lección de Un Punto (LUP) “Identificación de falla corte de cuchillo irregular”.

LECCIÓN DE UN PUNTO																					
Área	CONSTRUCCIÓN	Redactado por:	RODRIGO VILLALOBOS-FI	1	HABILIDAD BÁSICA																
Máquina	TODAS HF- INSPECTOR EN VERDE	Fecha de elaboración	14-Jun-18	2	PROBLEMA																
Subsistema	CALIDAD			3	MEJORA																
				4	SEGURIDAD																
Objetivo : INSTRUIR SOBRE LA DIFERENCIA ENTRE "EMPALME DE LATERAL ABIERTO" Y LA NUEVA FALLA "CORTE DE LATERAL IRREGULAR".																					
Cuando se le presente neumáticos como los mostrados en las imágenes, se debe evidenciar la diferencia entre ellos, como "EMPALME LATERAL ABIERTO" (falla 100 en verde) y "CORTE DE LATERAL IRREGULAR" (falla 128 en verde) y																					
EMPALME DE LATERAL ABIERTO, falla 100 en verde "100 empalme lateral abierto":																					
																					
NUEVA FALLA																					
CORTE DE CUCHILLO IRREGULAR, falla 128 en verde "128 Corte de lateral irregular":																					
																					
<div style="background-color: black; color: yellow; padding: 5px; border: 1px solid black; display: inline-block;"> PARA LA FALLA DE DE CORTE DE CUCHILLO IRREGULAR, ASIGNAR FALLA 128 EN VERDE </div>																					
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; font-size: small;"> ➕ Add 💾 Save 🔄 Refresh/Cancel 🚪 Logout </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;"></th> <th style="width: 5%;">Nr.</th> <th style="width: 15%;">Defect Type</th> <th style="width: 10%;">Defect Num</th> <th style="width: 15%;">Short Desc</th> <th style="width: 20%;">Long Desc</th> <th style="width: 10%;">Global Def #</th> <th style="width: 10%;">Regional Def #</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">✖</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">Green</td> <td style="text-align: center;">128</td> <td style="text-align: center;">G</td> <td style="text-align: center;">Corte de Lateral irregular</td> <td></td> <td style="text-align: center;">2011</td> </tr> </tbody> </table>							Nr.	Defect Type	Defect Num	Short Desc	Long Desc	Global Def #	Regional Def #	✖	1	Green	128	G	Corte de Lateral irregular		2011
	Nr.	Defect Type	Defect Num	Short Desc	Long Desc	Global Def #	Regional Def #														
✖	1	Green	128	G	Corte de Lateral irregular		2011														
Timbre Entrenamiento				Especialista Personas			Firma														
				Especialista Proceso			Firma														
				Especialista Producto			Firma														
				Especialista Confiabilidad			Firma														
Numero de registro:				Coordinador de seguridad división			Firma														