

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial

Rediseño del proceso de producción de armado de llantas del
Departamento de Armado de la empresa Bridgestone de Costa
Rica.

AUTOR

David Barrios Delgado.

TUTOR

Ing. Luis Quirós González.

LECTOR

Ing. Allan Mora Vargas.

SAN JOSÉ, AGOSTO, 2021.

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	7
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	19
Generalidades de la empresa	20
Historia	21
Ubicación Geográfica.....	22
Construcción de bloques del sistema	23
Estructura Física.....	23
Estructura Organizacional	24
Tecnología.....	24
Ciclo de vida de la organización	24
Productos.....	25
Organización de la empresa	26
Misión.....	27
Visión	27
Planteamiento del problema	28
Objetivos	29
Objetivo general	29
Objetivos específicos.....	29
Justificación.....	29
Antecedentes	30
Proyecciones.....	35
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	36

Lluvia de ideas	36
Value Stream Mapping	37
Ciclo PHVA	37
Capacidad de producción	38
Diagrama de Flujo.....	39
Histograma	40
Diagrama de Pareto	41
Diagrama de Causa-Efecto.....	42
Diagramas de Dispersión	44
Prueba t de student para dos muestras independientes.....	45
Diagrama Hombre-Máquina	48
Gestión de Calidad Total (TQM)	50
Hojas de Control	51
Metodología 5s.....	52
Lean Manufacturing	53
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	54
Enfoque	54
Enfoque Cuantitativo.....	54
Enfoque Cualitativo.....	55
Enfoque Mixto.....	55
Alcance.....	56
Alcance Exploratorio.....	56
Alcance Descriptivo	56

Alcance Correlacional	57
Alcance Explicativo	57
Diseño.....	58
Diseño experimental.....	58
Diseño no experimental.....	58
Muestra de la investigación.....	59
Muestras Probabilísticas.....	60
Muestras no probabilísticas.....	60
Variables.....	61
Instrumentos	62
Proceso para la recolección de datos.....	63
Método de análisis.....	64
Cronograma.....	64
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	67
Descripción del proceso productivo.....	67
Departamento de Banbury.....	71
Departamento de Calandra	72
Departamento de Cortadoras.....	72
Departamento de Aros.....	73
Departamento de Steelastic	73
Departamento de Tubuladora	73
Departamento de Armado	75
Departamento de Vulcanización	75

Departamento de Inspección Final	76
Descripción del producto	76
Componentes	77
Zonas básicas.....	77
Tipos de productos	79
Mercados de exportación	83
Descripción del problema.....	84
Capacidad de producción	91
Medición de las consecuencias	93
Análisis de las causas	94
Situación actual - Ciclo de producción	94
Situación actual – Tiempos no operativos.....	100
Análisis de sub-causas del problema.....	116
Comprobación estadística de KPIV´s	124
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	162
Conclusiones	163
Recomendaciones.....	164
CAPÍTULO VI PROPUESTA	167
Propuesta	167
Mejoras en demoras sobre el ciclo de producción	168
Mejoras en tiempos no operativos (KPIV´s críticos)	172
Evaluación de mejoras	187
Control de mejoras implementadas	192

Análisis Económico.....	195
Inversión requerida.....	196
Beneficios económicos.....	197
Plan de implementación	199
REFERENCIAS	201
APÉNDICES.....	205

TABLAS

Tabla 1 Variables	61
Tabla 2 Instrumentos	63
Tabla 3 Cantidad de máquinas agrupadas por tipo de tecnología	84
Tabla 4 Capacidad de producción por aro	84
Tabla 5 Matriz de producción por grupo de máquinas y tipo de aro	87
Tabla 6 Tendencia de producción máquinas KB	88
Tabla 7 Tendencia de producción máquinas KR	89
Tabla 8 Tendencia de producción máquinas Módulos	90
Tabla 9 Tendencia de producción máquinas X99	90
Tabla 10 Ciclo de producción estándar	92
Tabla 11 Utilización de máquinas KB	92
Tabla 12 Capacidad de producción máquinas KB	93
Tabla 13 Objetivos de producción corporativos KB 2020	93
Tabla 14 Materiales aplicados en las máquinas KB	95
Tabla 15 Tiempo productivo vs inactivo del diagrama hombre-máquina actual	99
Tabla 16 Tiempos no operativos 2020 en máquinas KB	100
Tabla 17 Tiempos no operativos por materiales defectuosos 2020 en máquinas KB	102
Tabla 18 Tiempos no operativos por capa defectuosa en máquinas KB	103
Tabla 19 Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por capa defectuosa (arrugas) ...	105
Tabla 20 Tiempos no operativos por fallas mecánicas en máquinas KB	106
Tabla 21 Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por F.M. Sist. Capa	107
Tabla 22 Tiempos no operativos por fallas eléctricas en máquinas KB	109

Tabla 23 Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por F.E. Sist. Capa	110
Tabla 24 Desglose sumado por máquina KB de tiempos no operativos del top 3 principal.....	111
Tabla 25 Estrategia para el análisis de sub-causas del problema	115
Tabla 26 IPO MAP proceso de producción de capa estabilizadora	116
Tabla 27 Análisis causa y efecto del proceso de producción de capa estabilizadora.....	117
Tabla 28 FMEA Proceso de producción de capa estabilizadora.....	119
Tabla 29 IPO MAP proceso de aplicación de capa estabilizadora en la llanta	119
Tabla 30 Análisis causa y efecto del proceso de aplicación de capa en la llanta.....	121
Tabla 31 FMEA Proceso de aplicación de capa en la llanta	122
Tabla 32 KPIV´s críticos.....	123
Tabla 33 Comprobación estadística de KPIV´s	125
Tabla 34 Tipos de alambre según máquina del departamento de Steelastic	126
Tabla 35 Muestras de carruchas de capa estabilizadora con cambios en la tensión	127
Tabla 36 Muestras de carruchas de capa estabilizadora con cambios en la presión del freno.....	135
Tabla 37 Muestras de carruchas de capa estabilizadora con diferente tipo de linner	142
Tabla 38 Muestras de carruchas para evaluación de rodillos de máquina KB-13	150
Tabla 39 Muestras de capa arrugada tras pasar por rodillos de máquina KB-13.....	152
Tabla 40 Muestras de carruchas de capa estabilizadora cortada con diferente filo de cuchilla...	156
Tabla 41 Conclusiones	163
Tabla 42 Recomendaciones.....	164
Tabla 43 Cambios en la secuencia de acciones del operador.....	168
Tabla 44 Tiempo productivo vs inactivo del diagrama hombre-máquina	170
Tabla 45 Inventario de linner	179

Tabla 46 Requerimiento de linner por máquina en el departamento de Steelatic.....	180
Tabla 47 Tendencia de cambios de cuchillas en máquinas KB en el año 2020.....	184
Tabla 48 Propuesta - Tendencia de cambios de cuchillas en máquinas KB en el año 2020.....	186
Tabla 49 Dato de aumento de producción de llantas por reducción de tiempo de ciclo.....	187
Tabla 50 Tiempos no operativos por capa arrugada en la máquina KB-13 (Antes).....	188
Tabla 51 Tiempos no operativos por capa arrugada en la máquina KB-13 (Después).....	189
Tabla 52 Dato de aumento de producción de llantas por reducción de NOT de capa arrugada ..	191
Tabla 53 Inversión del proyecto.....	197
Tabla 54 Beneficio económico del proyecto.....	197
Tabla 55 Relación beneficio económico-inversión requerida.....	198

FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica.....	22
Figura 2 Ciclo de vida de la organización.....	25
Figura 3 Organigrama.....	26
Figura 4 Visión de la empresa.....	27
Figura 5 Fórmula para el tamaño de la muestra.....	61
Figura 6 Cronograma del proyecto.....	65
Figura 7 EDT.....	66
Figura 8 Secuencia de producción entre departamentos.....	68
Figura 9 Flujo productivo.....	70
Figura 10 Llanta verde.....	75
Figura 11 Banda de rodamiento.....	77

Figura 12 Costado-Pared.....	78
Figura 13 Ceja.....	78
Figura 14 Sellante.....	79
Figura 15 Tipos de productos.....	79
Figura 16 Llantas Mass Market.....	80
Figura 17 Llantas Premium Market	81
Figura 18 Llantas High Performance	81
Figura 19 Llantas Ultra High Peformance	82
Figura 20 Mercados de exportación	83
Figura 21 Tendencia del requerimiento de producción por tipo de aro	85
Figura 22 Tendencia del requerimiento de producción por grupo de máquinas.....	86
Figura 23 Requerimiento de producción máquinas KB	88
Figura 24 Requerimiento de producción máquinas KR	89
Figura 25 Requerimiento de producción máquinas Módulos	90
Figura 26 Requerimiento de producción máquinas X99.....	91
Figura 27 Imagen frontal de máquina KB.....	95
Figura 28 Diagrama de flujo actual de intervenciones del operador en la máquina KB.....	96
Figura 29 Diagrama hombre-máquina actual del ciclo de producción de llanta máquina KB	97
Figura 30 Pareto – Tiempos no operativos máquinas KB.....	101
Figura 31 Pareto – Tiempos no operativos por materiales defectuosos máquinas KB	102
Figura 32 Pareto – Tiempos no operativos por materiales defectuosos en máquinas KB	104
Figura 33 Pareto - Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por capa defectuosa (arrugas)	106

Figura 34 Pareto – Tiempos no operativos por fallas mecánicas en máquinas KB	107
Figura 35 Pareto - Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por F.M. Sist. Capa	108
Figura 36 Pareto – Tiempos no operativos por fallas eléctricas en máquinas KB.....	109
Figura 37 Pareto - Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por F.E. Sist. Capa	110
Figura 38 Pareto - Desglose por máquina KB de tiempos no operativos del top 3 de demoras ..	112
Figura 39 Resumen de problemática.....	113
Figura 40 Flujo del material capa estabilizadora	114
Figura 41 Problemática asociada a las arrugas en la capa estabilizadora	124
Figura 42 Carrucha de capa estabilizadora	125
Figura 43 Prueba de normalidad de muestras con tensión 4N	129
Figura 44 Prueba de normalidad de muestras con tensión 104N	129
Figura 45 Prueba de homogeneidad de varianzas – Tensión de linner	131
Figura 46 Resultado del P-Value de la prueba t student – Tensión del linner	132
Figura 47 Diferencia entre medias – Tensión de linner	132
Figura 48 Freno del transporte de la carrucha de capa estabilizadora	133
Figura 49 Prueba de normalidad de muestras con presión de freno actual de 40 PSI	136
Figura 50 Prueba de normalidad de muestras con presión de freno propuesta de 30 PSI	137
Figura 51 Prueba de homogeneidad de varianzas – Presión del freno.....	138
Figura 52 Resultado del P-Value de la prueba t student – Presión del freno del transporte	139
Figura 53 Diferencia entre medias – Presión de freno	140
Figura 54 Linner en la capa estabilizadora.....	141
Figura 55 Prueba de normalidad de muestras con linner viejo	143
Figura 56 Prueba de normalidad de muestras con linner nuevo	144

Figura 57 Prueba de homogeneidad de varianzas – Tipo de linner	145
Figura 58 Resultado del P-Value de la prueba t student – Tipo de linner.....	146
Figura 59 Diferencia entre medias – Tipo de linner.....	147
Figura 60 Ubicación de carruchas de capa estabilizadora en máquina KB-13	148
Figura 61 Recorrido de capa estabilizadora en máquina KB-13.....	148
Figura 62 Capa estabilizadora enredada en los rodillos de la máquina KB-13.....	151
Figura 63 Prueba de hipótesis de 1 proporción – Giro y condición de los rodillos	153
Figura 64 Cuchilla de corte de capa estabilizadora en máquina KB-13	155
Figura 65 Prueba de normalidad de muestras con corte con cuchillas nuevas	157
Figura 66 Prueba de normalidad de muestras con corte con cuchillas desgastadas.....	158
Figura 67 Prueba de homogeneidad de varianzas – Condición de la cuchilla de corte de capa ..	160
Figura 68 Resultado del P-Value de la prueba t student – Condición de la cuchilla de corte de capa	161
Figura 69 Diferencia entre medias – Condición de la cuchilla de corte de capa	162
Figura 70 Estrategia para el planteamiento de mejoras.....	167
Figura 71 Diagrama de flujo propuesto de intervenciones del operador en la máquina KB	169
Figura 72 Diagrama hombre-máquina propuesto del ciclo de producción de llanta máquina KB	171
Figura 73 Estrategia de propuesta de mejoras para KPIV´s críticos.....	173
Figura 74 Modificación de tensión en linner en máquina ST-4.....	173
Figura 75 Ayuda visual para el ajuste de tensión en linner en la máquina ST-4	174
Figura 76 Modificación de presión de freno del transporte en máquina ST-4.....	176
Figura 77 Ayuda visual para el ajuste de la presión de freno del transporte en la máquina ST-4177	

Figura 78 Ayuda visual para el uso de linner nuevo en la máquina ST-4.....	181
Figura 79 Puntos de inicio de recorrido de la capa estabilizadora en la máquina KB-13.....	182
Figura 80 Instalación de fotocelda de detección de arrugas en la capa estabilizadora	183
Figura 81 Puntos de evaluación en mantenimientos preventivos	185
Figura 82 Propuesta - Puntos de evaluación en mantenimientos preventivos	187
Figura 83 Análisis de Antes/Después de implementación de demoras en máquina KB-13	190
Figura 84 Incremento de producción en KB-13 tras mejoras realizadas	192
Figura 85 Lista de estándares de monitoreo.....	193
Figura 86 Ítems de monitoreo de mejoras implementadas.....	194
Figura 87 Plan de implementación del proyecto.....	199

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El proyecto será realizado en la empresa manufacturera de llantas Bridgestone, y consiste en el rediseño del proceso de producción de llantas en el Departamento de Armado de la empresa Bridgestone. El Departamento de Armado está compuesto por veintisiete (27) máquinas armadoras de llanta, las cuales están agrupadas en cinco grupos distintos, según la tecnología de estas. Cada grupo de máquinas tienen tasas de producción que se requieren sean cumplidas por cada una de sus máquinas para poder abastecer el siguiente proceso productivo, así como para cumplir los objetivos de producción medidos a nivel corporativo. Actualmente, en algunos grupos no se cumple con lo anterior, por lo que el proceso requiere la intervención de este proyecto para poder cumplir los lineamientos descritos.

La estructura del proyecto está compuesta por seis capítulos. El primero consiste en la introducción, se detallan los aspectos generales de la empresa y del proyecto. La segunda sesión incluye el marco teórico, el cual es la etapa en que se reúne información documental para de esta forma tener un conocimiento detallado de la teoría que le da significado a la investigación realizada. El tercero presenta el marco metodológico, el cual es el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos. El cuarto capítulo es el análisis de la situación actual del problema planteado; el quinto capítulo son las conclusiones y recomendaciones. Por último, el sexto corresponde a la propuesta, la cual incluye el análisis económico y plan de implementación. Resulta de suma importancia para la organización cumplir con las tasas de producción requeridas con la cantidad de máquinas y personal actual, para no incurrir en horas extras para abastecer tal requerimiento, así como para cumplir con las metas de producción definidas a nivel corporativo. El proyecto estará enfocado en la línea de investigación de diseño, desarrollo y mejoramiento de procesos. Para lograr cumplir los requerimientos descritos será necesario un rediseño del proceso englobado en mejoras con herramientas de ingeniería industrial que permitan optimizar el proceso actual en el Departamento de Armado. Para ello, es necesario tener un énfasis en la investigación para definir el problema actual con base en datos estadísticamente confiables. Bajo esta línea también es importante poder comprobar las causas identificadas, de modo que las soluciones repercutan de manera efectiva en el objetivo general planteado en el proyecto.

Generalidades de la empresa

Bridgestone es una empresa multinacional dedicada a la manufactura de llantas. Bajo la visión de servir a la sociedad con calidad superior, Bridgestone se ha destacado en Costa Rica por la amplia gama de modelos y categorías de llantas que ofrece al mercado de Centroamérica y el Caribe.

Historia

Bridgestone consiste en una corporación multinacional, que cuenta con 46 plantas de neumáticos, nueve pistas de pruebas y 101 plantas de otros productos. Además, cuenta en una red de ventas global en más de 150 países y genera empleo a más de 123.000 personas alrededor del mundo, gracias a la producción de llantas y derivados del hule. En un principio Bridgestone, inició operaciones en Costa Rica en 1967, al amparo Tratado General de Integración Económica Centroamericana, con una producción diaria de 425 llantas y la participación de 200 trabajadores. En 1985, la corporación decidió vender la operación de Costa Rica y cambió su razón social a la de Firestone. Para ese entonces, la fábrica ya había logrado incrementar su capacidad de producción a 1.800 llantas diarias.

Posteriormente, en 1987 Firestone fue adquirida por Bridgestone. El resultado de esta fusión fue la creación de la compañía más grande del mundo en lo que corresponde a producción de llantas y otros productos derivados del caucho.

A mediados de los años 90, la planta de Costa Rica, que para entonces se mantenía operando como una franquicia, decidió iniciar su proceso de acercamiento a la corporación Bridgestone S.A., con el objetivo de volver a formar parte del grupo internacional.

Para ese momento, la producción ya alcanzaba las 2.200 unidades diarias, que incluían los primeros productos de tecnología radial en acero la cual se fabricaba en el país. Es importante resaltar que, durante ese periodo, la empresa obtuvo las certificaciones ISO 9002 e ISO 14001 y que fue una de las primeras organizaciones en obtener una certificación en Centroamérica.

El proceso de acercamiento culminó en 1999, con la firma de un acuerdo de venta de acciones, la cual permitió a la Corporación Bridgestone S.A. asumir el control del 100% de las operaciones en Costa Rica. Como parte de los acuerdos de adquisición, la planta duplicó su capacidad de producción para llegar a las 5.000 unidades diarias, con el objetivo de exportar las unidades adicionales a los Estados Unidos de América. Ya se contaba con la fuerza de trabajo que alcanzaba

los seicientos asociados. Adicionalmente, se actualizó la norma ISO: 9001 a su versión 2000 y se obtuvo la certificación QS 9000, que posteriormente, migraría a la ISO/TS 16949, norma especial para los proveedores de partes para vehículos nuevos.

En el 2003, Bridgestone S.A. decidió invertir 40 millones de dólares en Costa Rica, con el propósito de duplicar, nuevamente, su capacidad de producción, para llegar a las 12000 unidades diarias. De esta manera, Bridgestone, empezó a consolidarse como una empresa exportadora de primer orden, al colocar el 90% de su producción en Centroamérica, el Caribe, Norteamérica, Japón y América del Sur.

La compañía cumple cuarenta y dos años de contribuir con el desarrollo de la región, abasteciendo al sector automotor con excelentes productos y colaborando activamente con el crecimiento de los países en los que mantiene operaciones.

El 23 de enero de 2009, la filial de Costa Rica cambió su nombre a Bridgestone de Costa Rica S.A. Esta decisión corporativa tiene como objetivo destacar que cada uno de los países es miembro de la familia Bridgestone y continúa como una marca de la cartera de la compañía.

Más recientemente, en marzo de 2015 se anunció que Bridgestone de Costa Rica se fusionará con su homóloga de México, a partir de 2016. Esta fusión generará la unidad más importante de la transnacional en Latinoamérica, encargada del mercado que va desde la frontera sur de Estados Unidos hasta Ecuador, incluyendo el Caribe.

Ubicación Geográfica

La empresa Bridgestone S.A. se encuentra ubicada en el Kilómetro 11 Costado Oeste de la autopista General Cañas, La Ribera de Belén, Heredia, Costa Rica, tal y como se puede ver en la Figura 1.

Figura 1 Ubicación Geográfica



Nota: www.google.com/maps.

Construcción de bloques del sistema

La meta de los sistemas de producción es fabricar y distribuir productos. La actividad más importante para cumplir con esta meta es el proceso de manufactura, en el cual tiene lugar la transformación de la materia prima en producto final. Para ser competitivo, la meta debe ser que la transformación de materiales cumpla, de manera simultánea, con los siguientes pilares:

- Calidad.
- Costo.
- Tiempo.

Estructura Física

El proceso de conversión de materiales se lleva a cabo en la planta de producción, el volumen de producción y la variedad de los productos determina el diseño de la planta. Bridgestone S.A. opera bajo un sistema de producción intermitente, en el que se producen bajas cantidades diarias de muchos modelos diferentes; por lo tanto, los trabajadores deben estar capacitados para operar diversas máquinas, según la medida de la llanta. La planta posee una distribución por proceso, en la que se agrupan máquinas similares y por departamento.

Un proceso de producción intermitente crea la flexibilidad necesaria para producir diversos artículos en cantidades significativas, incluye principalmente el uso de una estrategia de flujo flexible, con los recursos organizados en torno al proceso (Krajewski, 2000).

Estructura Organizacional

La meta de las organizaciones es subdividir las tareas complejas en componentes más simples, mediante la división del trabajo.

Bridgestone S.A. opera bajo una estructura funcional, construida alrededor de los insumos usados para lograr que se realicen las tareas de la organización. Los insumos se agrupan según la especialización de sus funciones. Bridgestone S.A. está encabezado por las direcciones de: manufactura, finanzas, comercial y recursos humanos; las cuales se subdividen en sus respectivos departamentos.

Tecnología

La tecnología en Bridgestone S.A. está clasificada como alta. Todas las actividades de apoyo adquieren el mismo refinamiento, basado en la alta tecnología.

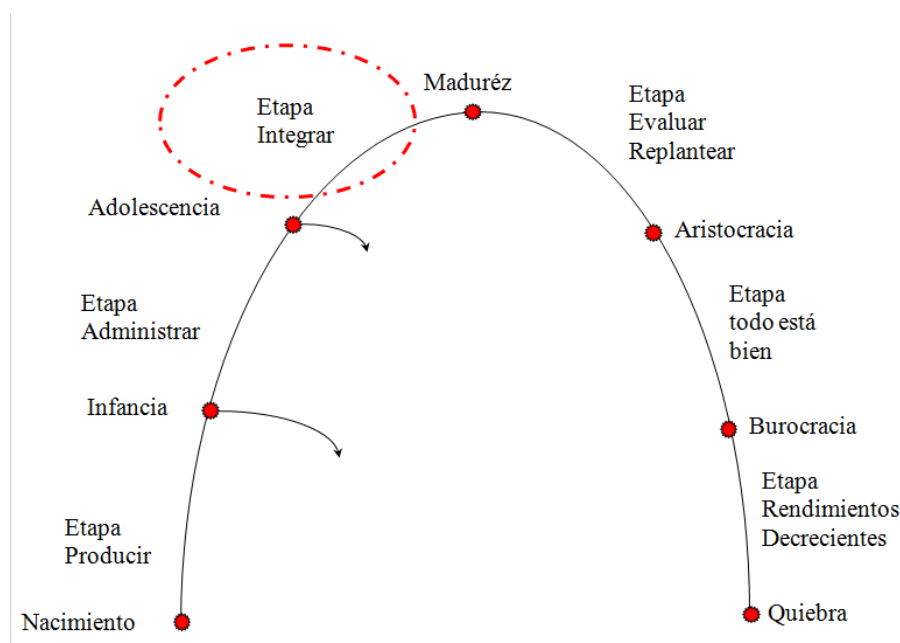
Bridgestone S.A. lleva a cabo todas sus funciones relacionadas con la compra, producción y exportación de sus productos mediante el sistema SAP 6.0.

La producción por departamento, máquina, operario, día, turno y otros rubros es registrada en tiempo real mediante el sistema AS400.

Ciclo de vida de la organización

Bridgestone S.A. es una empresa consolidada a nivel mundial. En Costa Rica no tiene competencia y abarca con solidez el mercado nacional, características que la sitúan en la etapa integrar. En la Figura 2 se muestra el ciclo de vida de la organización Bridgestone.

Figura 2 Ciclo de vida de la organización



Nota: David Barrios Delgado.

Productos

La empresa cuenta con una gran variedad de productos de acuerdo con el tipo de vehículo y al aro de este. Las llantas están divididas por familias: PSR, LTR, LTS, TBS y Tempa.

Diseño PSR es una llanta tipo pasajero para aros 12 y 13, es decir, para carros livianos. En esta familia se encuentran diseños como F-570, F-590, Seiberling, Dayton, principalmente.

Diseño LTR es una llanta para camioneta y microbuses aro 14 y 15. En esta se encuentran diseños como Wilderness, Steeltex, Destination, CV3000.

Diseño LTS es una llanta para camioneta aro 14, 15 y 16. Aquí están los diseños como T494, T423, AT.

Diseño TBS es una llanta para camión y furgones aro 20. Se encuentran diseños como T494, T423, AT.

Diseño TSR es una llanta para equipo original aro 14, 15, 16, 17. En esta familia se hallan los diseños como W6H4, HNDA, GEEM.

En los siguientes apartados se mencionan las funciones principales de la llanta, los componentes elementales, las zonas básicas y características y los tipos de productos que ofrece la compañía.

Entre las principales funciones se están:

- Transferir fuerzas de tracción y frenado.
- Dar dirección al vehículo.
- Absorber irregularidades del camino.
- Contener el aire que soporta la carga.

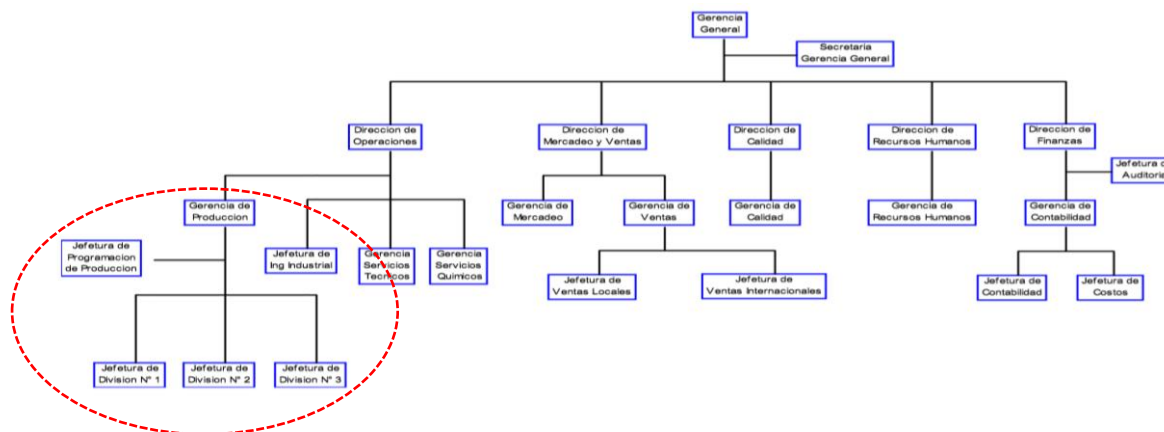
Organización de la empresa

El organigrama empresarial en Bridgestone está dividido en direcciones, las cuales son:

- Manufactura.
- Comercial.
- Calidad.
- Recursos humanos.
- Finanzas.

La dirección de impacto del proyecto es la dirección de manufactura (u operaciones), la cual es dirigida por el gerente de producción, quien a su vez supervisa a los jefes de los departamentos productivos. En la Figura 3 se muestra el organigrama de la empresa.

Figura 3 Organigrama



Nota: Bridgestone.

Misión

Bridgestone ha definido su misión, alineándola con la misión corporativa, la cual fue definida por el fundador de ABC, Shojiro Ishibachi en 1936: “Servir a la sociedad con calidad superior”.

Visión

La visión de la empresa se basa en los valores definidos dentro de la organización contemplando el entorno que la rodea, y los medios mediante los cuales se va a lograr su visión de llegar a ser el mejor.

Para ser mejor, involucramos a accionistas, gente, Bridgestone S.A., clientes, comunidad y proveedores; todos bajo el enfoque de mejoramiento continuo, responsabilidad social y nuestros valores. En la Figura 4 se muestra el logo de la visión de la empresa.

Figura 4 Visión de la empresa



Nota: Bridgestone.

Planteamiento del problema

Este proyecto surge de un problema en el proceso productivo de la empresa Bridgestone, el cual, en la actualidad, está provocando consecuencias a nivel financiero y operativo en el Departamento de Armado. De tal forma, es necesario que el Departamento de Armado cumpla con las metas de producción de cada una de sus máquinas, para a lo vez, poder cumplir con el requerimiento de producción diario establecido a nivel de organización.

En el Departamento de Armado hay 27 máquinas armadoras de llanta verde, agrupadas en 5 tipos distintos, según su tipo de tecnología. Para todos los grupos se requiere el cumplimiento diario de producción de cada una de sus máquinas, y para un grupo en específico, denominado KB, el cual está compuesto por las máquinas más tecnológicas, adicional se requiere que cumpla con las metas de producción establecidas a nivel corporativo.

Actualmente, se incumplen las metas internas y corporativas de producción por grupo de máquinas, afectando con horas de demoras por máquina detenida a las máquinas del siguiente proceso productivo, el cual es el Departamento de Vulcanización. Lo anterior sucede debido a que al no cumplir con la producción requerida no se produce la cantidad de llanta verde necesaria para abastecer las máquinas del proceso de vulcanización. El grupo de máquinas KB incumple los lineamientos corporativos.

La problemática descrita repercute en costos por máquina detenida en el Departamento de Vulcanización, horas extras para aumentar la producción en el Departamento de Armado y el incumplimiento de metas internas y corporativas.

Por lo tanto, de acuerdo con los problemas mencionados, la situación conlleva a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo rediseñar el proceso de producción de armado de llantas del Departamento de Armado para cumplir con el requerimiento de producción en la empresa Bridgestone de Costa Rica?

Para el problema mencionado se plantearán objetivos que permitan determinar el plan por seguir para solucionar las causas del problema mediante mejoras plasmadas, a través de herramientas de ingeniería industrial.

Objetivos

Los objetivos son los resultados deseados que se esperan alcanzar con la ejecución de las actividades que integran este proyecto. Para lograr las metas fijadas en este proyecto se ha planteado un objetivo general en el que se define el rediseño a realizar, así como los pasos requeridos para tal fin.

Objetivo general

Rediseñar el proceso de producción de armado de llantas del Departamento de Armado para cumplir con el requerimiento de producción en la empresa Bridgestone de Costa Rica.

Objetivos específicos

- Describir el proceso de producción de armado de llantas.
- Determinar el porcentaje de utilización de la capacidad de producción.
- Identificar las causas que inciden en el incumplimiento del requerimiento de producción.
- Definir una propuesta de rediseño para cumplir con la meta propuesta.
- Desarrollar propuestas de control de las mejoras planteadas.

Justificación

En el Departamento de Armado operan 27 máquinas que trabajan en cuatro grupos distintos. Tal y como se mencionó en el apartado del planteamiento del problema, todas las máquinas de cada uno de los grupos tienen metas de producción por día establecido en cada inicio de mes, sin embargo, existe un grupo de máquinas denominado KB, que adicional al requerimiento de producción establecido cada inicio de mes también requiere cumplir con metas establecidas a nivel corporativo.

El proyecto está enfocado en poder solucionar los problemas que impiden cumplir con los requerimientos mencionados, y poder generarle a la empresa beneficios operativos y económicos. A nivel operativo, es importante cumplir los requerimientos con las condiciones actuales, con el fin de generar mejoras que permitan cumplir con los lineamientos de la corporación, así como para evitar presupuestar contrataciones.

A nivel económico, actualmente, en el Departamento de Armado, se incurre en horas extras por un monto mensual de ¢1.339.355,67. Este rubro es requerido para poder aumentar llantas adicionales al tener dos operadores en algunas máquinas.

Es de suma importancia para la empresa poder cumplir el objetivo del proyecto, para aumentar la productividad del Departamento de Armado y poder aportar a la rentabilidad del negocio.

Antecedentes

Para García (2021): “Los antecedentes son todos aquellos trabajos de investigación que preceden al que se está realizando, pero que además guarda mucha relación con los objetivos del estudio que se aborda” (párr. 1).

El proyecto en estudio tiene como objetivo poder cumplir con el requerimiento de producción que se le demanda al Departamento de Armado. Bajo el anterior punto, para poder cumplir con ese objetivo, surgen temas de herramientas de ingeniería industrial aplicables en esta investigación, tales como balance de líneas, estudio de tiempos y movimientos, reducción de desperdicios mediante aplicación de manufactura esbelta, y otros.

En el año 2020 se publicó el artículo científico denominado: “Estudio de tiempos como base para trazar estrategias orientadas al incremento de la eficiencia del proceso de batido de una planta de producción de helados”, en un proceso de batido de una planta de producción de helados de la empresa Delihelados, ubicada en Bogotá, Colombia. Allí se observó un uso inadecuado del personal en el balanceo de las líneas de batido, ya que la elaboración se realizaba empíricamente y sin un sustento ingenieril. En ese artículo, se reconoce la importancia de proporcionar técnicas de estudio de tiempos que faciliten racionalizar los recursos involucrados en el proceso de batido de helados; de esta manera, se evitan los desperdicios, se disminuyen las horas muertas de los operarios, se genera el aumento de la eficiencia y se reducen los errores, lo que permite conocer a fondo los lineamientos para ejecutar cada actividad de este proceso.

Realizaron un estudio de toma de tiempos para todos los procesos y subprocesos, en los que identificaron el proceso cuello de botella, las eficiencias actuales de los equipos y la eficiencia potencial para un balanceo de líneas. De acuerdo con Alfaro (2020): “La principal conclusión fue el balanceo de dos de sus líneas (las dos máquinas batidoras de helado), reduciendo el tiempo de llenado en un 50%, empleando la misma cantidad de operarios” (p. 118).

En otro artículo científico, publicado en el año 2017 en la revista Ra Ximhai, denominado: “Optimización de tiempos de proceso en desestibadora y en llenadora”, se expuso el tema de los tiempos no operativos en los procesos. De acuerdo con Ibarra et al. (2017): “En los procesos de manufactura, la demanda, servicio al cliente y producción tiene una gran importancia, lo que obliga a esta producción a tener sus equipos y maquinaria de producción en óptimas condiciones para que el producto esté en manos del consumidor sin retrasos, por lo tanto, es importante tener los tiempos establecidos de cada proceso” (p. 291).

Se aplicó el método de estudio de tiempos con cronómetro para determinar las principales causas de paradas de las máquinas y se concluyó que análisis de tiempos es una herramienta adecuada para determinar el tiempo de los procesos y hacer las recomendaciones de mejora, para minimizar o evitar el tiempo perdido y optimizar las condiciones de operación en el proceso.

En el año 2015, en la revista Ingeniería y Competitividad, se publicó el artículo científico llamado: “Mitigación de defectos en productos manufacturados”, en una empresa manufacturera dedicada a la transformación de vidrio y aluminio para ventanería y puertas”, en la cual, se propuso un proceso de mejora continua en el que se combinaron herramientas estadísticas de calidad, como los gráficos de control, el diagrama de Pareto, el diagrama causa-efecto, y el proceso de gestión de riesgo, con el objetivo de reducir los defectos que se puedan presentar en un sistema productivo de transformación.

Como conclusión, de acuerdo con Pulido et al. (2015): “Se logró identificar falencias en cada uno de los subprocesos en la línea de transformación de vidrio” (p. 171).

Además, se plantearon soluciones encaminadas a mitigar las causas o riesgos generadores de no conformidades en el producto monitoreado. Los resultados de la aplicación se presentaron para la operación de corte de vidrio y como logro fundamental, se implementaron las mejoras necesarias para aminorar la ocurrencia de los riesgos identificados, pudiéndose tomar el mejor curso de acción teniendo en cuenta las condiciones de operación de la empresa.

De igual forma, en el año 2015, la revista de artículos científicos llamada Científica publicó el artículo denominado: “El enfoque de sistemas para la aplicación de la manufactura esbelta”, en el que se llevó a cabo un análisis de la administración del proceso en los sistemas de manufactura, con el objeto de resaltar los beneficios que el enfoque de sistemas aporta para mejorar la toma de decisiones en las empresas manufactureras. Tras diversas simulaciones entre variables y sus

correlaciones, Juárez et al. (2015) concluyen que: “Se ha comprobado que el enfoque de sistemas es ineludible para comprender los fenómenos que en él ocurren” (p. 41).

De acuerdo con los mismos autores. queda demostrado que, por el número de elementos que lo componen, por el número de las interrelaciones entre ellos y por la naturaleza no lineal de éstas, no es razonable formular soluciones simples a las problemáticas; puesto que, la pretensión de un proyecto de investigación en curso es proponer, con elementos del pensamiento esbelto, un modelo de mejora de los procesos productivos queda de manifiesto que necesita un sustento de enfoque de sistemas.

La revista Ingeniería Industrial - Actualidad y Nuevas Tendencias, publicó en el año 2009 el artículo científico denominado: “Flexibilización de Producción en una Fábrica de Tejidos de Algodón”, en el que se muestra cómo mejorar una instalación de teñido de urdiembre, a través de cambios en el proceso productivo sin afectar sensiblemente la eficiencia y aún más, la mejora. Como conclusión, en el caso en estudio se analizó el proceso de teñido, el cual representa un porcentaje importante del tiempo destinado a Set-Up, ya que para cada cambio de proceso es necesario detener la máquina, limitando la flexibilidad del proceso, debido a que cada cambio de proceso o artículo representa un aumento en los tiempos de Set-Up, reduciendo el tiempo de producción y con esto la productividad del proceso. De acuerdo con Concha et al. (2009) con la propuesta, se logró aumentar la flexibilidad y eficiencia en forma simultánea además de la disminución de los niveles de inventario y tiempos de ciclo, dejando a la empresa en una mejor posición competitiva (p. 51).

En la Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, en el año 2020, se realizó la tesis titulada: “Optimización de recursos para mejorar los procesos productivos en una empresa metalmecánica”, en la que se aplicó la teoría de la cadena de valor. De acuerdo con Gavilanes (2020) se analizó y mejoró la productividad del área financiera de servicios mediante la utilización de formularios de levantamiento de información donde se examinaron las actividades que agregan valor a la empresa y a las que no agregan valor a la empresa, conociendo el desarrollo de las mismas en relación al cargo de trabajo (p. 191).

En ese mismo año, en la Universidad Católica de Perú, se desarrolló la tesis llamada: “Análisis y propuesta de mejora en el proceso de extrusión en una empresa manufacturera de llantas usando herramientas de Lean Manufacturing”. La tesis tuvo como objetivo analizar y proponer mejoras en

el proceso de extrusión en la fábrica de llantas empleando herramientas de Lean Manufacturing. Se realizó el diagnóstico actual donde se identificó el problema de tiempos perdidos en el área de construcción por falta de componentes en proceso que cumplan las condiciones de calidad. Ello conllevó al elevado rechazo de componentes en proceso provenientes de la máquina extrusora. Se empleó el diagrama Ishikawa, se encontró que las principales causas son las siguientes, contaminación de la goma por la falta de limpieza, alto índice de reproceso, tiempo perdido por parada de máquina imprevista. Por tanto, la propuesta se centró en las “5S” para crear un sistema de orden y limpieza, el SMED para reducir los tiempos de cambio de matriz y aumentar la disponibilidad de la máquina, y finalmente la implementación de las herramientas Jidoka y Poka Yoke, con el fin de prevenir los errores y reducir el índice de reproceso durante el proceso de extrusión. La herramienta “5S” crea un ambiente adecuado de trabajo donde prime la seguridad, limpieza y orden, de esta forma poder reducir los tiempos de transporte innecesarios al almacén y por supuesto ayudar a que el reproceso disminuya, ya que se estableció un lugar específico para colocar los productos con defectos.

Como conclusión, de acuerdo con Castromonte (2020): “Se pudo obtener una disminución de 30% del tiempo de paradas no programadas, generando un ahorro de 8,424 soles anuales, además se obtuvo una reducción del 40% de los tiempos de transporte innecesarios al almacén generando un ahorro de 2,184 soles anuales” (p. 223).

En la Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, en el año 2019, se realizó la tesis titulada: “Aplicación de la Técnica de balance de línea para la optimización de la productividad en el llenado de cajas de banano en la hacienda "La Pasión". Su objetivo fue mejorar el proceso de embalaje de cajas de banano mediante balance líneas con el propósito de aumentar el desempeño en el proceso. Se identificó todos los procesos que intervienen en la producción de embalado de cajas de banano y se describió cada uno de ellos. La metodología empleada en esta investigación va desde la descripción del proceso, identificación de los problemas, desperdicios, implementación de mejoras, hasta el análisis costo beneficio. Para realizar la descripción del proceso, se analizó desde que se receipta la materia prima hasta tener la caja lista para ser transportada. El método seleccionado para el análisis de dicho proceso fue el equilibrado de cadena, el cual exige la determinación de tareas de procedencia, cálculo del tiempo de ciclo, número mínimo de estaciones, tiempo ocio y la

eficiencia de la situación actual, para finalmente balancear las actividades en cada estación de trabajo.

Para Becilla (2019): “La principal mejora implementada, tras el análisis de las causas del problema, fue adicionar otra banda transportadora por rodillos, para así eliminar el cuello de botella, previamente identificado en el proceso de embalado” (p. 55).

En la Universidad Católica de Perú, en el año 2019, se desarrolló la tesis llamada: “Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora de los procesos de producción en el área de tintorería y acabado de una empresa textil”. Esa tesis tuvo como finalidad implementar un sistema de producción híbrido dentro del área de Tintorería y Acabado de una empresa textil dedicada a la fabricación de tejidos de algodón. El proyecto inicia con el desarrollo de los conceptos de los tipos de sistemas de producción que han ido evolucionando de acuerdo con la coyuntura y necesidades de las empresas a lo largo de la historia. Asimismo, se describieron las herramientas que permitieron implementar el sistema de producción híbrido. Se describió a la empresa, de tal manera que se desarrolló y explicó su sistema de producción de tejidos, procesos productivos, materiales e insumos que se utilizan. Realizado el diagnóstico se procedió a implementar, como propuesta, un sistema de producción híbrido enfocándose como producto de estudio el tejido teñido debido a que este último es el que tiene mayores problemas a la hora de su producción y es el que mejor *throughput* posee de todos los demás tipos de tejidos que se fabrican en la empresa. Como resultado de las mejoras, concluye Montoya (2019) que: “Con la implantación de este proyecto, se aumentó en aproximadamente un 86% las ratios de cumplimiento de pedidos, generando una ventaja competitiva sobre las demás empresas del mismo rubro” (p. 98).

En la Universidad Estatal de Milagro, Ecuador, en el año 2014, se realizó la tesis titulada: “Análisis del proceso de envasado de agroquímico y sus impactos en los niveles de productividad de una empresa ubicada en la ciudad de Guayaquil”. El trabajo se realizó debido al problema de la baja productividad en el área de envasado de la planta, además existen inconformidades en el proceso de llenado de los envases y esto conlleva a recibir reclamos por parte de los clientes. Una vez identificado el proceso cuello de botella y las causas del problema, se plantearon varias mejoras, donde destaca la más determinante, que fue la implementación de una máquina envasadora automática.

Según Chalen (2014): “Una de sus principales ventajas es la estandarización de los envases en todo el proceso, menor derrame del producto y mayor seguridad para el personal” (p. 75).

Proyecciones

El principal resultado esperado del proyecto se centra en dos vías:

1. Que los grupos de máquinas cumplan con los requerimientos internos de producción para satisfacer la demanda establecida cada inicio de mes.
2. Que el grupo de máquinas KB cumpla los requerimientos de producción corporativos.

Para lograr lo anterior es necesario aumentar la productividad del departamento, aumentando la eficiencia de producción de máquina, y reduciendo las demoras por paradas de máquina en el departamento que impiden que la producción alcance los niveles requeridos.

Para lo anterior será requerido aumentar la eficiencia de máquina en al menos 5% y reducir las paradas de máquina en al menos 20%.

Como parte de los compromisos para este proyecto destacan:

- Trabajo en equipo con la alta dirección para trabajar alineados en el alcance del objetivo.
- Aplicación de herramientas de Ingeniería Industrial adquiridas durante la carrera.
- Apertura a la comunicación y escucha activa en pro de la mejora continua del proyecto.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

En el marco teórico “se sustentan los experimentos, hipótesis y propuestas de desarrollo de la investigación, se explican un conjunto de referencias y antecedentes fruto del aqueo bibliográfico del cual partió la investigación de esta” (Supo, 2015, p. 25).

El mismo autor indica que, por lo tanto, todo estudio se debe realizar desde el punto de nuestra línea de investigación, es aquí donde se presentan los primeros vacíos de su conocimiento, esto lo podemos detectar cuando realizamos la búsqueda exhaustiva de antecedentes investigativos con el fin de contribuir con la línea de investigación.

Lluvia de ideas

El proceso conocido como lluvia de ideas (o también popular en inglés como *brainstorming*), con base en Vázquez y Rejane Ferreira (2006): “(...) es un proceso didáctico y práctico, mediante el cual se intenta generar creatividad mental con respecto a un tema” (p. 215).

Tal como lo dice su nombre, la lluvia de ideas supone pensar rápido y de manera espontánea en ideas, conceptos o palabras que se puedan relacionar con un tema previamente definido y que entonces, puedan servir a diferentes fines. El proceso de lluvia de ideas actualmente es muy utilizado en espacios tales como reuniones laborales, clases, debates, entre otros.

Los mismos Vázquez y Rejane Ferreira (2006), indican que: “La noción de lluvia de ideas parte del hecho de ampliar la participación, democratizarla a todos los presentes en el espacio en el cual la reunión o el evento se llevan a cabo” (p. 216). Esto es así porque se considera que muchas mentes, con sus particularidades, contribuyen mejor a la generación de ideas y posibles proyectos, que una sola. La lluvia de ideas comienza con la interacción del moderador con los integrantes del grupo, en el que presenta el tema que será objeto de discusión y realiza la pregunta para que los participantes las analicen y expongan sus ideas. Se permite una reflexión en la que los participantes escriben sus planteamientos en relación con la pregunta que haya sido formulada. Las principales reglas de la formulación de la lluvia de ideas son: el suspender el juicio, libre pensamiento, generar gran cantidad de ideas, combinar ideas y creatividad.

Value Stream Mapping

De acuerdo con Serrao (2007): “El VSM se trata de una técnica relativamente reciente que viene a dar respuesta a las necesidades planteadas por las empresas manufactureras de cara a desarrollar cadenas de valor más competitivas, eficientes y flexibles con las que afrontar las dificultades de la economía actual” (p. 71).

Según el autor supracitado, el propósito de la herramienta es mapear las actividades con y sin valor añadido necesarias para llevar una familia de productos desde materia prima a producto terminado, con el objeto de localizar oportunidades de mejora mediante unas pautas basadas en conceptos de la Producción Ajustada para posteriormente graficar un posible estado futuro y lanzar proyectos de mejora.

Aunque el marco de desarrollo inicial del VSM se sitúa en el estudio de flujos dentro de la propia planta manufacturera, llámese análisis puerta a puerta, también han sido publicadas y divulgadas aplicaciones exitosas específicas de la herramienta a otros niveles y en otros marcos.

Indica Serrao (2007) que:

Las etapas principales de un proyecto de mapeado de procesos se pueden resumir en los siguientes puntos:

1. Elección de una familia de productos.
2. Mapeado de la situación inicial o actual.
3. Mapeado de la situación futura.
4. Definición de un plan de trabajo.
5. Implantación del plan de trabajo. (p.p 71-78).

Ciclo PHVA

El ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar) es de gran utilidad para estructurar y ejecutar proyectos de mejora de la calidad y la productividad en cualquier nivel jerárquico en una organización.

De acuerdo con Gutiérrez (2015): “En este ciclo se desarrolla de manera objetiva y profunda un plan (planear), éste se aplica en pequeña escala o sobre una base de ensayo (hacer), se evalúa si se obtuvieron los resultados esperados (verificar) y, de acuerdo con lo anterior, se actúa en consecuencia (actuar)” (p. 120).

La filosofía de este ciclo lo hace de gran utilidad para perseguir la mejora mediante diferentes metodologías. En general, para cumplir efectivamente el ciclo PHVA, es clave usar las

herramientas básicas. Actualmente hay muchas metodologías de desarrollo de un proyecto que de alguna forma incorporan la filosofía del ciclo PHVA, y esto se puede ver tanto en los pasos recomendados para ejecutar un proyecto de proceso esbelto.

Capacidad de producción

Para Sy Corvo (2019): “La capacidad de producción es el volumen de productos que puede generar una planta o empresa de manufactura en un período determinado, utilizando los recursos existentes actuales” (párr. 1). En consecuencia, una capacidad de producción insuficiente dará lugar a un rendimiento deficiente de las entregas, a un aumento de los inventarios de productos en proceso y al personal de fabricación frustrado. Esto puede llevar a que se reduzca la satisfacción del cliente y a una reducción en las perspectivas de rentabilidad. Por otro lado, el exceso de capacidad puede imputar a la empresa con gastos innecesarios. La planificación de la capacidad puede ayudar a una utilización óptima de los recursos.

De acuerdo con el mismo Sy Corvo (2019), existen varios tipos de capacidad de producción, y son las siguientes:

- **Capacidad de diseño.** Se refiere a la producción máxima teórica que se puede alcanzar. La capacidad de diseño es la capacidad alcanzable de un diseño si se le asignan recursos suficientes. Por ejemplo, un centro de datos puede diseñarse con espacio suficiente para 12.500 unidades de cómputo.
- **Capacidad efectiva.** La capacidad efectiva es la capacidad que se puede alcanzar dado su diseño y los recursos actuales. Es la producción máxima posible tomando en cuenta restricciones tales como requisitos de calidad, composición de la mezcla de productos, mantenimiento de la máquina y problemas de programación. Por ejemplo, un centro de datos que está diseñado para 12.500 unidades informáticas, que solo tiene suficiente energía de la red y solar para 9.100 unidades informáticas.
- **Producción real.** Es el porcentaje de capacidad efectiva que realmente se está usando. Es la tasa de producción alcanzada realmente. Normalmente es menor que la producción efectiva, causada por factores tales como averías de la máquina. Por ejemplo, un centro de datos con una capacidad efectiva de 9.100 unidades de cómputo, que actualmente tiene 3.400 unidades en servicio, tiene una capacidad de uso de 37,4%. (párr. 8).

Continuando, detalla Sy Corvo (2019) que existen diferentes formas de calcular la capacidad. Se explican las siguientes:

- Capacidad de horas-máquina. El primer paso es calcular la capacidad de horas-máquina de la fábrica de manufactura. Por ejemplo, una planta tiene 50 máquinas y los trabajadores pueden usarlas desde las 6 a.m. hasta las 10 p.m., durante 16 horas al día. La capacidad diaria de la planta en horas sería 16 horas multiplicadas por 50 máquinas: 800 horas-máquina.
- Capacidad de producción con un solo producto. Se determina cuánto tiempo se lleva producir una unidad de producto. Luego se divide la capacidad diaria de la planta en horas entre el tiempo para producir un producto, llegando así a la capacidad de producción diaria. Por ejemplo, supongamos que un trabajador tarda 0,5 horas en una máquina para fabricar un artículo y la capacidad diaria es de 800 horas. La capacidad de producción será 800 dividido entre 0,5: 1.600 artículos diarios.
- Capacidad de producción con múltiples productos. Supongamos que además de producir artículos que demoran 0,5 horas, la empresa también fabrica botones que tardan 0,25 horas en máquina. Entonces, el número de artículos multiplicado por 0,5 más el número de botones multiplicado por 0,25 será igual a la capacidad total por hora (800). Se resuelve para las dos variables: número de artículos y número de botones. Para 800 horas de máquina, una combinación posible sería producir 800 artículos y 1.600 botones.
- Tasa de utilización. Al conocer la capacidad de producción, se puede medir qué tan bien se está usando la misma. La fórmula para la tasa de utilización de la capacidad es la producción real dividida entre la producción potencial. Por ejemplo, una empresa tiene la capacidad de producir 1.600 artículos por día, pero solo produce 1.400. La tasa de utilización de la capacidad será 1.400 entre 1.600: 87,5%. (párr. 9).

Diagrama de Flujo

Manene (2011) señala que: “Un diagrama de flujo es la representación gráfica del flujo o secuencia de rutinas simples. Tiene la ventaja de indicar la secuencia del proceso en cuestión, las unidades involucradas y los responsables de su ejecución, es decir, viene a ser la representación simbólica o pictórica de un procedimiento administrativo” (párr. 1).

Dichas representaciones son de gran importancia, ya que ayudan a designar cualquier representación gráfica de un procedimiento o parte de este. En la actualidad, los diagramas de flujo son considerados en la mayoría de las empresas como uno de los principales instrumentos en la realización de cualquier método o sistema.

Manene (2011) aduce que:

El desarrollo de un diagrama de flujo es una buena herramienta para ser realizada con un trabajo en equipo, para lo cual se deberán seguir los pasos que a continuación se exponen:

1. Se nominan los miembros del grupo de trabajo que deberán elaborar el correspondiente diagrama de flujo del proceso en estudio.
2. Se realizan una serie de reuniones para ir realizando la elaboración de una representación gráfica del proceso en cuestión.
3. Para realizar el diagrama, los datos son obtenidos a través de un continuo planteamiento de preguntas a los miembros del grupo que se irán repitiendo a lo largo de todo el proceso construcción del diagrama de flujo.
4. Todos los datos que se obtengan de las respuestas a las preguntas mencionadas deberán siendo representadas de modo que sean visibles para todo el grupo de trabajo durante la realización de la confección del diagrama, componiendo una especie de mapa mental que ayuda a tomar decisiones.
5. Se deberá confeccionar una tabla de símbolos estándar que vayan a ser utilizados normalmente en el diagrama de flujo a construir.
6. Se recomienda empezar dibujando el diagrama de flujo más general del proceso para posteriormente ir detallando más cada uno de los diferentes pasos con aquellas características que nos interesen más resaltar, como: responsabilidades, archivos, tiempos, documentación asociada, avisos, entre otros (párr. 3).

Histograma

Según Hernández (2017): “Un histograma es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables, normalmente señalando las marcas de clase, es decir, la mitad del intervalo en el que están agrupados los datos” (párr. 2).

El mismo autor indica que:

Se aplican a todos aquellos estudios en los que es necesario analizar la pauta de comportamiento de un determinado fenómeno en función de su frecuencia de aparición. Por su naturaleza gráfica, el histograma puede ayudar a identificar e interpretar pautas que son difíciles de ver con una simple tabla de números y que son de poco valor si no aparecen suficientemente ordenados y clasificados. Permite resumir grandes cantidades de datos y comunicar información clara y sencilla sobre situaciones complejas (párr. 4).

Continuando con Hernández (2017), detalla que los pasos principales para su elaboración son:

1. Recolectar los valores de los datos, los cuales deben ser:
 - a. Objetivos: Basados en hechos y no en opiniones.

- b. Exactos: Hay que asegurarse de que la variabilidad de la medida en la recogida de datos no desvirtúe la variabilidad del proceso en estudio.
 - c. Completos: Se debe registrar toda la información relevante asociada a la toma de datos (máquina, hora empleado, entre otros) en previsión de los diferentes análisis que puedan ser necesarios.
2. Determinar el rango de los datos (recorrido): restando, el menor valor de los datos, del mayor.
 3. Determinar la cantidad de intervalos (clases) en el histograma. A menudo entre 6 y 12 y dividir el rango (paso 2) por la cantidad de intervalos para determinar el rango de cada uno (amplitud). Dependiendo del número de clases en que se agrupan los datos, se perderán más o menos información, tratando de identificar la pauta de comportamiento.
 4. Calcular la amplitud del intervalo de cada clase. Amplitud es igual a: $\text{Recorrido} / \text{N}^\circ \text{ de clases}$
 5. Calcular la frecuencia de clases. Para determinar el número de datos que están incluidos en cada una de las clases se puede hacer de la siguiente forma: se confecciona un cuadro con tres casillas, en la primera por filas se colocan los límites numéricos de cada clase. Se empieza por el primer dato de la lista, se identifica a qué clase pertenece y se coloca una marca o “palote” en la segunda casilla en la fila correspondiente. Se continúa de la misma forma con todos los valores de la tabla. La suma de los “palotes” marcados para cada clase corresponde a la frecuencia de esta. Es conveniente comprobar que la suma de las frecuencias de cada una es igual al número total de datos.
 6. Marcar el eje horizontal con la escala de los valores de los datos. Se divide en tantos intervalos como clases se hayan definido.
 7. Marcar el eje vertical con la escala de frecuencia. Cantidad o porcentaje de observaciones realizadas. Dibujar la altura de cada intervalo igual a la cantidad de valores de los datos que caen dentro de ese intervalo (párr. 7).

Diagrama de Pareto

Sales (2017) asevera que: “El Diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas, de modo que se pueda asignar un orden de prioridades” (párr. 1). Por lo tanto, de acuerdo con el mismo autor, el análisis mediante el Diagrama de Pareto es una técnica que separa los “pocos vitales” de los “muchos triviales”. Es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar. Sales (2017) menciona que: “Reducir los problemas más significativos (las barras más largas en una Gráfica Pareto) servirá más para una mejora general que reducir los más pequeños” (párr. 2).

Según Sales (2017) este diagrama es:

Una herramienta de análisis de datos ampliamente utilizada y útil en la determinación de la causa principal durante un esfuerzo de resolución de problemas. Permite ver los problemas más grandes y facilita a los grupos establecer prioridades. En casos típicos, los menos, (pasos, servicios, ítems, problemas, causas) son responsables por la mayor parte el impacto negativo sobre la calidad. Si enfocamos nuestra atención en estos pocos vitales, podemos obtener la mayor ganancia potencial de nuestros esfuerzos por mejorar la calidad. (párr. 2).

Aunado a lo anterior, Sales (2017) señala que los pasos para su elaboración son:

1. Seleccionar categorías lógicas para el tópico de análisis identificado (incluir el periodo de tiempo).
2. Reunir datos. La utilización de un Check List puede ser de mucha ayuda en este paso.
3. Ordenar los datos de la mayor categoría a la menor.
4. Totalizar los datos para todas las categorías.
5. Calcular el porcentaje del total que cada categoría representa.
6. Trazar los ejes horizontales (x) y verticales (y primario – y secundario).
7. Trazar la escala del eje vertical izquierdo para frecuencia (de 0 al total, según se calculó anteriormente).
8. De izquierda a derecha trazar las barras para cada categoría en orden descendente. Si existe una categoría “otros”, debe ser colocada al final, sin importar su valor. Es decir, que no debe tenerse en cuenta al momento de ordenar de mayor a menor la frecuencia de las categorías.
9. Trazar la escala del eje vertical derecho para el porcentaje acumulativo, comenzando por el 0 y hasta el 100%.
10. Trazar el gráfico lineal para el porcentaje acumulado, comenzando en la parte superior de la barra de la primera categoría (la más alta).
11. Dar un título al gráfico, agregar las fechas de cuando los datos fueron reunidos y citar la fuente de los datos.
12. Analizar la gráfica para determinar los “pocos vitales” (párr. 5).

Diagrama de Causa-Efecto

Betancourt (2016) refiere que: “El diagrama de causa-efecto es una herramienta que permite representar un problema o enfoque central y sus causas de una forma visual, donde el problema representa la cabeza del pescado, de la que emerge una espina central. Desde allí se derivan las causas mayores o espinas grandes” (párr. 1).

El mismo autor, indica que la forma más común de desarrollar esta herramienta es mediante el método de las 6M, y significan lo siguiente:

Mano de obra: Consideramos todos los aspectos asociados a la gente, al personal, a la mano de obra. Interrogantes frecuentes independiente del problema suelen ser: ¿Está capacitada la mano de obra? ¿Esta seleccionado el personal idóneo para ese trabajo? ¿El personal se siente motivado y trabaja con deseo? ¿El trabajador muestra habilidad en su trabajo?

Maquinaria: Hablar de maquinaria es hablar de infraestructura. Es hablar de todas las herramientas con las que contamos para dar salida al producto final. Software, hardware, máquinas de fabricación, montacargas, etc. Interrogantes comunes suelen ser: ¿Tiene capacidad suficiente para cumplir su función? ¿Qué tan eficiente es? ¿Cómo es el manejo? ¿Existen repuestos? ¿Es conforme el mantenimiento? ¿Esta actualizado a su última versión?

Métodos: Evaluamos la forma en la que hacemos las cosas. Así pues, al evaluar los métodos, estamos evaluando si la forma en que desarrollamos las actividades está significando resultados, así pues, tratamos de buscar la falla en el hacer de las cosas que ocasiona el problema. ¿Te suena a mano de obra? Sí, pero veamos la diferencia. Es diferente la localización de planta donde tenemos una secuencia de producción en línea a la localización hecha con una secuencia en forma de U. Son dos métodos diferentes. Simplemente es la forma en como producimos independiente de los trabajadores implicados.

Medición: Aquí recae todo lo que hacemos en torno a la inspección, las diferentes medidas con que se trabajan, el aseguramiento de la calidad, calibración, tamaño de muestra, error de medición, etc. Por ejemplo, si queremos evaluar los resultados de dos grupos de ventas, no será la mejor idea evaluar uno de los grupos por el número de artículos vendidos y otro por el monto de ventas alcanzado.

Materia prima: Evaluamos todo lo que tenga que ver con los materiales en la empresa, desde los que se usan para dar el producto final hasta los que se usan para hacer el aseo al baño. Todo es todo. Interrogantes comunes se asocian a los proveedores, variabilidad de las características y especificaciones del material, conformidad del material, facilidad para trabajar, etcétera.

Medio ambiente: El medio ambiente son las condiciones, el entorno con el que se trabaja. Cultura organizacional, clima organizacional, luz, calefacción, ruido, nieve, son aspectos del medio ambiente que se tienen en cuenta. (párr. 5).

Continuando con Betancourt (2016), este señala que los principales pasos para su desarrollo son:

1. Definir y escribir el problema, situación o evento que se desea analizar. Se escribe y luego se dibuja una caja alrededor de él, esta es la cabeza del pescado. Se debe redactar el problema en términos del efecto que se presenta en la situación de análisis. Luego trazar una recta (la espina central) por el lado izquierdo de la caja de texto.

2. Hacer una lluvia de ideas de causas probables de lo escrito en la cabeza del diagrama. Cada una de las causas detectadas será una espina mayor derivada de la espina central (la recta que trazaste en el paso 1). Considerar usar las causas genéricas o uno de los métodos de elaboración de diagrama de ishikawa, según la naturaleza del problema.
3. Analizar el problema desde cada una de las espinas mayores. Trazar una línea desde espina mayor y coloca la respuesta. Este es el segundo nivel de causas.
4. Analizar el problema desde el segundo nivel de causas. Se tomará la respuesta del interrogante anterior y se hará el mismo procedimiento con respecto al problema central. Trazar una línea desde el segundo nivel de causas y colocar la respuesta. Este es el tercer nivel de causas con respecto a la p de precio.
5. Continuar profundizando en las causas según sea necesario. Profundizar en las causas tanto como te lo permita el problema.
6. Completar las otras causas probables. Realizar el mismo procedimiento según tantas causas mayores hayas identificado.
7. Si el grupo se queda sin ideas, se debe centrar la atención en aquellas espinas donde las ideas son pocas.
8. Finalizado el diagrama, se debe analizar las causas obtenidas y determinar en cuáles se va a actuar. De seguro habrá un abanico de causas. Por votación o consenso se define cuáles son las causas principales y cuáles se van a intervenir. Aquí se consideran factores como el número de veces que se presenta la causa, el impacto sobre el problema central, el costo, tiempo y esfuerzo que se requeriría para su solución. Considerar hacer este análisis frente a un público más amplio, por ejemplo, gerencia, inversionistas, patrocinadores, entre otros (párr. 15-16).

Diagramas de Dispersión

Gutiérrez (2015) indica que: “Para la búsqueda de las causas de un problema en un proceso, en ocasiones es necesario analizar la relación entre dos variables numéricas” (p. 205). Por ejemplo, investigar si la variación en un variable de entrada (X) tiene algún efecto en cierta variable de salida (Y). Precisamente el diagrama de dispersión es una gráfica del tipo X-Y de particular utilidad para analizar la relación entre dos variables numéricas.

De acuerdo con el mismo Gutiérrez (2015), los pasos para la construcción de un diagrama de dispersión son:

1. Obtención de datos. Una vez que se han seleccionado las variables cuya relación se desea investigar, se recolectan los valores de éstas en parejas, es decir, se reúne para cada valor de una variable el correspondiente de la otra. Cuanto mayor sea el número de puntos con que se construye un diagrama de dispersión es mejor. Por ello, siempre que sea posible, se recomienda obtener más de 30 parejas de valores.

2. Elegir ejes. En general, si se trata de descubrir una relación de causa2efecto, la causa posible se representa en el eje X y el efecto probable en el eje Y. Si lo que se está investigando es la relación entre dos características de calidad o entre dos factores, entonces en el eje X se anota el que se puede manipular o controlar más, o el que ocurre primero durante el proceso. Es necesario anotar en los ejes el título de cada variable.
3. Construir escalas. Los ejes deben ser tan largos como sea posible, pero de longitud similar. Para construir la escala se sugiere encontrar el valor máximo y el mínimo de ambas variables. Se deben escoger las unidades para ambos ejes de tal modo que los extremos de los ejes coincidan de manera aproximada con el máximo y el mínimo de la variable correspondiente.
4. Graficar los datos. Con base en las coordenadas en el eje X y en el eje Y, representar con un punto cada pareja de valores de las variables. Cuando existen parejas de datos repetidos (con los mismos valores en ambos ejes), se traza un círculo sobre el punto para indicar que está repetido una vez. Si se repite se traza otro círculo concéntrico, y así sucesivamente.
5. Documentar el diagrama. Registrar en el diagrama toda la información que sea de utilidad para identificarlo, como títulos, periodo que cubren los datos, unidades de cada eje, área o departamento y persona responsable de recolectar los datos (p. 206).

Prueba t de student para dos muestras independientes

Díaz (2011) indica que: “La prueba t de student es uno de los análisis estadísticos más comunes en la práctica, y es probablemente el utilizado para comparar dos grupos independientes de observaciones con respecto a una variable numérica” (párr. 3). Como ejemplo, si se consideran datos correspondientes a 75 individuos con sobrepeso sometidos a dos dietas alimenticias distintas, de modo que se desea comparar el peso de los individuos que iniciaron cada una de las dietas.

De acuerdo con Díaz (2011):

La aplicación de un contraste paramétrico requiere la normalidad de las observaciones para cada uno de los grupos. La comprobación de esta hipótesis puede realizarse tanto por métodos gráficos (por medio de histogramas, diagramas de cajas o gráficos de normalidad) como mediante tests estadísticos (test de Kolmogorov-Smirnov, test de Shapiro-Wilks). Asimismo, este tipo de metodología exige que la varianza en ambos grupos de observaciones sea la misma. (párr. 4).

Bajo las hipótesis de normalidad e igual varianza la comparación de ambos grupos puede realizarse en términos de un único parámetro como el valor medio, de modo que en el ejemplo planteado la hipótesis de partida será, por lo tanto:

H_0 : La media de peso inicial es igual en ambos grupos

Se denotará por $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ e $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ al peso observado en cada uno de los sujetos sometidos a la dieta A y a la dieta B respectivamente. En general no se exigirá que coincida el número de observaciones en cada uno de los grupos que se comparan, de modo que en el ejemplo $n=40$ y $m=35$.

El t test para dos muestras independientes se basa en el estadístico:

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)\hat{S}_1^2 + (m-1)\hat{S}_2^2}{n+m-2} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}}}$$

donde \bar{X} e \bar{Y} denotan el peso medio en cada uno de los grupos:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 90.69$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i = 89.47$$

y \hat{S}_1^2 , \hat{S}_2^2 las cuasi-varianzas muestrales correspondientes:

$$\hat{S}_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = 32.14$$

$$\hat{S}_2^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2 = 54.43$$

Con lo cual, en este caso particular, el valor utilizado para el contraste será:

$$t = \frac{90.69 - 89.47}{\sqrt{\frac{39 \times 32.14 + 34 \times 54.43}{40 + 35 - 2} \sqrt{\frac{1}{40} + \frac{1}{35}}}} = 0.80$$

De nuevo Gutiérrez (2015) indica que:

Si la hipótesis de partida es cierta, el estadístico seguirá una distribución t de Student con $n+m-2$ grados de libertad. De ser así, el valor debería estar dentro

del rango de mayor probabilidad. Usualmente se toma como referencia el rango de datos en el que se concentra el 95% de la probabilidad. El valor-p que usualmente reportan la mayoría de los paquetes estadísticos no es más que la probabilidad de obtener, según esa distribución, un dato más extremo que el que proporciona el estadístico. Refleja también la probabilidad de obtener los datos observados si fuese cierta la hipótesis inicial. Si el valor-p es muy pequeño (usualmente se considera $p < 0.05$) es poco probable que se cumpla la hipótesis de partida y se debería de rechazar. La región de aceptación corresponde por lo tanto a los valores centrales de la distribución para los que $p > 0.05$ (párr. 6).

En el ejemplo planteado el valor-p correspondiente es de 0.425, de modo que no existe evidencia estadística de que el peso medio en ambos grupos sea diferente. Otro modo de obtener esta misma información es mediante el cálculo de intervalos de confianza para la diferencia de la respuesta media en ambos grupos. A mayores, el intervalo de confianza constituye una medida de la incertidumbre con la que se estima esa diferencia a partir de la muestra, permitiendo valorar tanto la significación estadística como la magnitud clínica de esa diferencia. En el caso que nos ocupa, el intervalo de confianza vendrá dado como:

$$(\bar{X} - \bar{Y}) \pm t_{0.975}^{n+m-2} \sqrt{\frac{(n-1)\hat{S}_1^2 + (m-1)\hat{S}_2^2}{n+m-2}} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}$$

donde $t_{0.975}^{n+m-2}$ denota el valor que según la distribución t de Student con $n+m-2$ grados de libertad deja a su derecha el 2.5% de los datos. En el ejemplo, el intervalo de confianza con una seguridad del 95% para la diferencia de peso viene dado por:

$$(90.68 - 89.47) \pm 1.99 \times \sqrt{\frac{39 \times 32.14 + 34 \times 54.43}{40 + 35 - 2}} \sqrt{\frac{1}{40} + \frac{1}{35}} = 1.21 \pm 2.98 = (-1.77, 4.19)$$

que expresa en definitiva un rango de valores entre los que se puede encontrar el valor real de la diferencia entre los pesos de ambos grupos. Proporciona además la misma información que obteníamos del contraste estadístico. El hecho de que el valor cero pertenezca al intervalo indica que no se dispone de evidencia para concluir que el peso sea distinto en ambos grupos.

Díaz (2011) concluye indicando que:

A medida que el tamaño muestral aumenta, la distribución del estadístico se hace más próxima a la de una variable normal estándar. De este modo, en algunos textos se opta por utilizar esta distribución para realizar la comparación de medias. Aunque esta aproximación es correcta para muestras suficientemente grandes, ambos métodos proporcionan en este caso resultados prácticamente

idénticos, por ende, resulta más simple utilizar, independientemente del tamaño de la muestra, la misma metodología a partir de la distribución t. El mismo planteamiento podría utilizarse en el caso de varianzas distintas o de muestras apareadas. (párr. 9).

Diagrama Hombre-Máquina

Wennermark (2019) define el diagrama hombre-máquina como: “La representación gráfica que permite conocer el tiempo utilizado tanto por hombres como por máquinas dentro de un proceso” (párr. 6).

Los elementos que componen el diagrama hombre-máquina son los tiempos que tarda cada actividad del ciclo productivo, la disponibilidad de operarios y máquinas para la tarea, el costo de operatividad y el error del estudio (o suplemento). Se muestra el siguiente ejemplo:

La Fábrica JW recibe un pedido de 10 mil unidades para ser entregado en 26 semanas o menos. Esta fábrica trabaja 8 horas por día, seis días a la semana y solo un obrero sabe cómo utilizar las dos máquinas que ayudan a elaborar este producto. El proceso productivo se mide en minutos y consta de las siguientes tareas:

- 1) Cargar material (2 minutos).
- 2) Inspeccionar (1 minuto).
- 3) Trabajo de la maquinaria (10 minutos).
- 4) Descargar el producto (2 minutos).
- 5) Caminar entre máquinas (1 minuto).

El trabajador tiene permitido hacer 40% de horas extras a la semana y se utilizará un suplemento del 15%. Con estos datos, ¿la empresa será capaz de cubrir la demanda? Continuando con el mismo autor, indica que los pasos para su elaboración son:

- 1) Elaborar el diagrama-hombre máquina:

Con los tiempos registrados, se procede a realizar el diagrama hombre-máquina. El resultado es el siguiente:

DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA														
Proceso	Operario		Maquina 1		Maquina 2									
Minutos	Tiempo	Actividad	Tiempo	Actividad	Tiempo	Actividad								
1	2	Carga Material Máquina 1	2	Ocio	6	Ocio								
2														
3	1	Inspección Máquina 1	10	Máquina en funcionamiento			6	Ocio						
4	1	Camina de Máq. 1 a Máq. 2												
5	2	Carga Material Máquina 2												
6														
7	1	Inspección Máquina 2			10	Máquina en funcionamiento			6	Ocio				
8	4	Ocio												
9														
10														
11														
12	1	Camina de Máq. 2 a Máq. 1					6	Ocio			10	Máquina en funcionamiento		
13	2	Descarga Producto Máq. 1												
14														
15	1	Ocio	6	Ocio					10	Máquina en funcionamiento				
16	1	Camina de Máq. 1 a Máq. 2												
17	2	Descarga Producto Máq. 2			6	Ocio							10	Máquina en funcionamiento
18														
	2	Descarga Producto Máq. 2					2	Ocio			2	Ocio		

2) Calcular el tiempo estándar:

A través de este estudio de tiempos, se quiere determinar si para la producción de estas unidades, la fábrica necesitará contratar más personal y comprar otra máquina para cubrir la demanda. Se ha determinado que el tiempo del ciclo es de 18 minutos y se obtienen dos productos. Sin embargo, este tiempo debe estandarizarse con el factor de corrección o suplemento. Se hace con la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo del ciclo} \times \text{Suplemento} = 18 \text{ minutos} * (1,15) = 20,7 \text{ minutos}$$

3) Calcular la producción por hora:

Para conocer cuántos productos se obtienen por hora, es necesario multiplicar la cantidad de unidades producidas por ciclo por la cantidad de ciclos que ocurren en una hora. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Producción por Hora} = \text{Productos por Ciclo} \times \text{Ciclos por Hora}$$

Del diagrama, se tiene que en 20,7 minutos estándares se obtienen 2 piezas. Mientras tanto, la cantidad de ciclos que hay en una hora, se calculan por dividir una hora entre el tiempo que dura el ciclo. Entonces, tenemos que:

$$\text{Producción por Hora} = 2 \text{ piezas por ciclo} * \frac{60 \text{ minutos por hora}}{20,7 \text{ minutos por ciclo}} = 5,80 \text{ piezas por hora}$$

4) Determinar el tiempo del que se dispone:

El objetivo de este estudio de tiempos es determinar cuántas horas son necesarias para producir 10 mil piezas. Inicialmente, queremos saber cuántas horas ocupa el operario por semana, teniendo en cuenta las horas extra. Para ello, se calcula la cantidad de horas laborales por semana y se multiplican por el máximo de horas extras.

$$\frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{6 \text{ días}}{1 \text{ semana}} = (48 \text{ horas/semana}) * (1,40) = 67,20 \text{ horas/semana}$$

Partiendo de este resultado, hay que determinar de cuánto tiempo se dispone para producir 10 mil piezas. Se hace según la siguiente fórmula:

$$\text{N}^\circ \text{ Semanas} * \text{horas hombre semanales} = 26 \text{ semanas} * \frac{67,2 \text{ horas}}{1 \text{ semana}} = 1747,20 \text{ hrs.}$$

5) Determinar el tiempo total de producción:

En el último paso de este estudio de tiempos, debe dividirse el total de productos deseados entre la producción por hora. Según la siguiente fórmula, el resultado es el siguiente:

$$\text{Tiempo total} = \frac{\text{Unidades a producir}}{\text{Producción por hora}} = \frac{10.000 \text{ piezas}}{5,80 \text{ piezas/hora}} = 1724,13 \text{ horas}$$

Finalmente, aduce Wennermark (2019): “Se puede determinar que es posible tener listo el pedido antes de la fecha establecida por el cliente” (párr. 13).

Gestión de Calidad Total (TQM)

Casafranca (2019) El Total Quality Management (TQM) “es un método de gestión de calidad cuyo objetivo principal es que los colaboradores en una compañía aseguren y tomen conciencia de la calidad en cada uno de los sectores de la organización” (párr. 1).

Indica el mismo Casafranca (2019) que: “Desde el punto de vista de los gerentes de negocios, el TQM se resume como una filosofía de gestión, con la finalidad de lograr el éxito a largo plazo de una compañía a partir de la exitosa satisfacción del cliente” (párr. 2). Para cumplir con esta meta, todos los miembros de la organización deben trabajar en conjunto. La totalidad de los empleados y el trabajo integrado impulsará los procesos, productos y servicios, además de la cultura en la que laboran. Este método señala que cada colaborador es dueño y responsable de la calidad lograda.

Otra vez Casafranca (2019) sostiene que: “Para mejorar la satisfacción del cliente se necesita enfatizar la comunicación acerca de lo que se le entregará a cambio de sus pagos. De esta manera, se evitan malentendidos y se alinean sus expectativas con el producto ofrecido” (párr. 3).

Continuando, Casafranca (2019) resalta que se necesitan cuatro pasos elementales para la gestión del TQM:

1. **Plan.** En la fase de planeamiento se requiere analizar el problema en todas sus dimensiones; es decir se investiga y recoge data que sirva para este fin.
2. **Do.** En esta etapa se plantean todas las posibles soluciones sustentadas.
3. **Check.** Se compara la información (antes y después) para evaluar si los cambios o soluciones planteadas realmente cumplen con mejorar los procesos.
4. **Act.** En la fase final, se registran todos los resultados de las mejoras a fin de enfrentar ahora nuevos problemas (párr. 4).

Hojas de Control

Para Gutiérrez (2015): “Una hoja de control es un formato creado para recolectar datos, de tal forma que su registro sea sencillo y sistemático” (p. 188).

El mismo Gutiérrez (2015), indica que: “Una característica que debe reunir una buena hoja de verificación es que visualmente ofrezca un primer análisis que permita apreciar la magnitud y localización de los problemas principales” (p. 188).

Asimismo, Gutiérrez (2015) señala algunas de las situaciones sobre las que resulta útil obtener datos a través de las hojas de verificación son las siguientes:

- Describir los resultados de operación o de inspección.
- Clasificar fallas, quejas o defectos detectados, con el propósito de identificar sus magnitudes, razones, tipos de fallas, áreas de donde proceden, etcétera.

- Confirmar posibles causas de problemas de calidad.
- Analizar o verificar operaciones y evaluar el efecto de los proyectos de mejora (p. 189).

Metodología 5s

Con base en Gutiérrez (2015): “Es una metodología que, con la participación de los involucrados, permite organizar los lugares de trabajo con el propósito de mantenerlos funcionales, limpios, ordenados, agradables y seguros” (p. 110).

El mismo Gutiérrez (2015) menciona que: “El enfoque primordial de esta metodología desarrollada en Japón es que para que haya calidad se requiere antes que todo orden, limpieza y disciplina” (p. 111). Con ello, se pretende atender problemáticas en oficinas, espacios de trabajo e incluso en la vida diaria, donde las mudas (desperdicio) son relativamente frecuentes y se generan por el desorden en el que están útiles y herramientas de trabajo, equipos, documentos, entre otros, debido a que se encuentran en los lugares incorrectos y entremezclados con basura y otras cosas innecesarias. Gutiérrez (2015) asegura que su nombre proviene de los siguientes términos japoneses:

- Seiri (seleccionar). Seleccionar lo necesario y eliminar del espacio de trabajo lo que no sea útil.
- Seiton (ordenar). Cada cosa en su sitio y un sitio para cada cosa. Organizar el espacio de trabajo.
- Seiso (limpiar). Esmerarse en la limpieza del lugar y de las cosas.
- Seiketsu (estandarizar). Cómo mantener y controlar las tres primeras S. Prevenir la aparición de desorden.
- Shitsuke (auto disciplinarse). Convertir las 4 S en una forma natural de actuar (p. 111).

De acuerdo con el mismo Gutiérrez (2015), su aplicación se basa en los siguientes pasos:

1. Creer en el potencial del 5S. Antes de introducir la metodología 5S al equipo, usted, como gestor, necesita entender y creer en el poder de cambio que ella posee. Para ello, estudie a fondo casos de éxito de este método en otras empresas y cree una presentación motivadora para el equipo sobre los efectos positivos que su implementación tendrá en el aumento de la productividad y en la búsqueda de resultados.
2. Crear una comisión de control. Seleccione algunos empleados para la comisión de implantación de la metodología 5S, ofreciendo capacitación y mostrando a ellos la importancia del nuevo sistema para la conducción de los negocios. Estos colaboradores serán responsables por el control de calidad y

por auxiliar al resto del equipo en la mejora continua de las estrategias utilizadas en cada uno de los 5S. Antes de elegir a estos profesionales, tenga en cuenta que ellos serán los multiplicadores de sus ideas y, por eso, también necesitan creer en ellas y tener disposición para ponerlas en práctica.

3. Evaluar, junto con la comisión, los puntos críticos de la empresa. La primera tarea de la comisión debe ser enumerar los principales problemas de la compañía, siempre con base en los preceptos de la metodología 5S. Hagan un análisis crítico del día a día del negocio y descubra qué puntos necesitan más atención. Esta asociación es importante, ya que no siempre el gestor, solo, tiene una visión amplia de los problemas del equipo y de los puntos a ser mejorados. Muchas veces, por ejemplo, la falta de organización no es causada por los colaboradores, sino por la falta de equipamientos adecuados o por el exceso de objetos en el espacio de trabajo. Este problema puede resolverse fácilmente con Seiri, el sentido de uso.
4. Comience a implementar los sentidos. En esa fase, finalmente, los sentidos son efectivamente implantados, uno a uno, en el orden en que fueron presentados. Se percibe que, naturalmente, un sentido lleva al prójimo, siguiendo un guion cohesivo que consiste en evaluar y organizar lo que es útil, limpiar y eliminar los excesos, normalizar la práctica y disciplinarse. Todos los empleados deben estar involucrados – no sólo la comisión de implantación. El secreto es tener siempre en mente que los 5S forman una filosofía, y no una simple herramienta de gestión.
5. Adopte sistemas de evaluación. Después de la implantación de todos los “sentidos”, es importante prever evaluaciones periódicas para acompañar si cada uno de los 5S continúa siendo aplicado. Establezca un mecanismo de monitoreo que permita que el empleado reflexione sobre sus hábitos y se autodisciplina para mantener la nueva cultura y el nuevo patrón siempre presentes en el día a día, sin que usted necesita actuar como un fiscal (p. 112).

Lean Manufacturing

De acuerdo con Gutiérrez (2015): “El concepto de proceso esbelto está enfocado en el flujo de los procesos y en reducir la cantidad de actividades que no agregan valor y que impiden el flujo” (p. 96). Lo contrario a un proceso esbelto es un proceso “obeso, lleno de cebo”, en el que no fluye el trabajo y hay pases laterales, atascos, tiempos de espera, altos inventarios, numerosas actividades que se hacen por rutina y tradición, pero que no agregan valor al producto. Su objetivo fundamental es el de minimizar las pérdidas que se producen en cualquier proceso de fabricación, y en utilizar solo aquellos recursos que sean imprescindibles. Así, eliminando el despilfarro se mejora la calidad y se reducen el tiempo de fabricación y los costes.

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), apuntan que: “La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema” (p. 4).

Los mismos autores consideran que: “El proceso investigativo tiene como propósito final generar conocimiento a través de la resolución del problema establecido al inicio del estudio, dicho problema viene expresado normalmente, en las preguntas y objetivos de la investigación, de modo que siempre es necesario tomar una serie de decisiones para enfocar el problema de investigación y buscarle soluciones” (p. 4).

Enfoque

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) indican que:

A lo largo de la historia de la ciencia han surgido diversas corrientes de pensamiento (como el empirismo, el materialismo dialéctico, el positivismo, la fenomenología, el estructuralismo) y diversos marcos interpretativos, como el realismo y el constructivismo, que han abierto diferentes rutas en la búsqueda del conocimiento. Sin embargo, y debido a las diferentes premisas que las sustentan, desde el siglo pasado tales corrientes se “polarizaron” en dos aproximaciones principales de la investigación: el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo (p. 4).

Enfoque Cuantitativo

El enfoque cuantitativo (que representa un conjunto de procesos), explicado por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) se describe de la siguiente manera:

Es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no se puede “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, se puede redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis (p.p. 4-5).

Enfoque Cualitativo

Para Hernández-Sampieri y Mendoza (2018):

En resumen, el enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. Se considera que la acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio (p.7).

Enfoque Mixto

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) plantean que: “El enfoque cualitativo busca principalmente la “dispersión o expansión” de los datos e información, mientras que el enfoque cuantitativo pretende “acotar” intencionalmente la información (medir con precisión las variables del estudio)” (p. 43).

De igual forma, los mismos autores mencionan que mientras que un estudio cuantitativo se basa en investigaciones previas, el estudio cualitativo se fundamenta primordialmente en sí mismo. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) señalan que: “El cuantitativo se utiliza para consolidar las creencias (formuladas de manera lógica en una teoría o un esquema teórico) y establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población; y el cualitativo, para que el investigador se forme creencias propias sobre el fenómeno estudiado, como lo sería un grupo de personas únicas o un proceso particular. Concluyen que el enfoque mixto utiliza ambos enfoques en forma combinada” (p. 43).

El enfoque del proyecto es cuantitativo, pues la base de su recolección de información, análisis estadísticos de la situación actual, y propuestas están basadas en datos recolectados por el investigador. De igual forma, como parte de la formulación del marco metodológico de la investigación, es importante descubrir los supuestos para reconstruir datos, a partir de conceptos teóricos habitualmente operacionalizados.

Alcance

Para Hernández-Sampieri y Mendoza (2018):

Los alcances de los proyectos, en resumen, no se deben considerar como “tipos” de investigación, ya que, más que ser una clasificación, constituyen un continuo de “causalidad” que puede tener un estudio. Esta reflexión es importante, pues del alcance del estudio depende la estrategia de investigación. Así, el diseño, los procedimientos y otros componentes del proceso serán distintos en estudios con alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. Pero en la práctica, cualquier investigación puede incluir elementos de más de uno de estos cuatro alcances (p. 90).

Alcance Exploratorio

En resumen, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) plantean que:

Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si se desea indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas. Consideran que los estudios exploratorios sirven para familiarizar fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto de un contexto particular, indagar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados (p. 91).

Alcance Descriptivo

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) señalan al respecto:

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. Así, indican los autores, como los estudios exploratorios sirven fundamentalmente para descubrir y prefigurar, los estudios descriptivos son útiles para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación. (p. 92).

Alcance Correlacional

Los estudios correlacionales establecidos por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) indican que:

Pretenden responder a preguntas de investigación como las siguientes: ¿aumenta la autoestima de los pacientes conforme reciben una psicoterapia gestáltica? ¿A mayor variedad y autonomía en el trabajo corresponde mayor motivación intrínseca respecto de las tareas laborales? ¿Hay diferencias entre el rendimiento que otorgan las acciones de empresas de alta tecnología computacional y el rendimiento de las acciones de empresas pertenecientes a otros giros con menor grado tecnológico en la Bolsa de Comercio de Buenos Aires? ¿Los campesinos que adoptan más rápidamente una innovación son más cosmopolitas que los campesinos que la adoptan después? ¿La lejanía física entre las parejas de novios tiene una influencia negativa en la satisfacción en la relación? (Todas en un contexto específico). Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables. Para evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, en los estudios correlacionales primero se mide cada una de éstas, y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones. La utilidad principal de los estudios correlacionales es saber cómo se puede comportar un concepto o una variable al conocer el comportamiento de otras variables vinculadas. Es decir, intentar predecir el valor aproximado que tendrá un grupo de individuos o casos en una variable, a partir del valor que poseen en las variables relacionadas (p.p. 93-94).

Alcance Explicativo

En síntesis, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) describen que:

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables. Las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y, de hecho, implican los propósitos de éstos (exploración, descripción y correlación o asociación); además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia (p. 95).

El proyecto tiene como base un alcance explicativo, pues será necesario explicar por qué ocurre la baja productividad del departamento, y en qué condiciones se presenta.

Diseño

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) plantean que el término diseño “se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema” (p.128).

Diseño experimental

Con respecto al diseño experimental, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) plantean que:

El término experimento tiene al menos dos acepciones, una general y otra particular. La general se refiere a “elegir o realizar una acción” y después observar las consecuencias. Este uso del término es bastante coloquial; así, si se habla de “experimentar” cuando se mezclan sustancias químicas y se da una reacción provocada, o cuando se cambia de peinado y se observa el efecto que causa en amistades. La esencia de esta concepción de experimento. Una acepción particular de experimento, más armónica con un sentido científico del término, se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. Es decir, los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula (p,p. 129-130).

Diseño no experimental

Para Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), se define como: “La investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no se hace variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos” (p. 152).

Continuando con los mismos autores, refieren, con respecto al diseño no experimental que:

En un estudio no experimental no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos. La investigación no experimental es un parteaguas de varios estudios cuantitativos, como las encuestas de opinión, los estudios ex post-facto retrospectivos y prospectivos, y otros (p-p. 152-153).

Los diseños no experimentales se pueden clasificar en transeccionales y longitudinales.

Diseño Transeccional.

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) señalan, en resumen, que los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede. Pueden abarcar varios grupos o subgrupos de personas, objetos o indicadores; así como diferentes comunidades, situaciones o eventos (p. 154).

Diseño Longitudinal.

De igual modo, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), indican, de forma resumida, que: “Los diseños longitudinales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Tales puntos o periodos generalmente se especifican de antemano. En conclusión, son estudios que recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación o fenómeno, sus causas y sus efectos” (p. 159).

El diseño de investigación del proyecto es diseño no experimental de tipo transeccional debido a que es requerido conocer la situación actual de proceso en estudio bajo la recolección de datos en un momento dado, y, de esta manera, indagar la incidencia de los niveles de una o más variables en una población. Es requerido describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Será necesario detallar las variables que indiquen en el problema planteado en cada máquina y grupo de máquinas del departamento en estudio, con el fin de conocer el impacto en otras variables o en la población que es objeto de estudio.

Muestra de la investigación

Con base en Hernández-Sampieri y Mendoza (2018): “Para el proceso cuantitativo, la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población. Básicamente, se categorizan las muestras en dos grandes ramas: las muestras no probabilísticas y las muestras probabilísticas” (p. 173).

Muestras Probabilísticas

Para Hernández-Sampieri y Mendoza (2018): “En las muestras probabilísticas, todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos para la muestra y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra, y por medio de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de muestreo/análisis. Existen varios tipos: aleatorio simple, aleatorio sistemático, estratificado, y conglomerado” (p-p. 175-176).

Muestras no probabilísticas

Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018 indican que: “En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. Existen varios tipos: conveniencias, juicio y discrecional” (p-p. 175-176).

El proyecto tomará como base un muestreo probabilístico, debido a que es requerido muestrear de acuerdo con el tipo de máquina del departamento, y será específicamente en turno diurno.

Se definirán las unidades de muestreo según el tipo de máquinas y operadores. Se delimitará la población en las máquinas con menos productividad, para luego determinar el tamaño de la muestra y seleccionarla. El método de recolección de datos será mediante observaciones en el proceso y entrevistas.

Con respecto al tamaño de la muestra, será requerido realizar observaciones en planta para determinar las máquinas con menor productividad, y para eso, la fórmula correspondiente es la indicada en la Figura 5.

Figura 5 Fórmula para el tamaño de la muestra

	Población finita	Población infinita
Tamaño de la muestra	$n = \frac{Z_{\frac{\alpha}{2}}^2 * N * p * q}{Z_{\frac{\alpha}{2}}^2 * p * q + NE^2}$	$n = p * q \left(\frac{Z_{\frac{\alpha}{2}}^2}{E^2} \right)$
Error	$\sigma_p = \sqrt{\left(\frac{N-n}{N-1} \right) * \left(\frac{p * q}{n} \right)}$	$\sigma_p = \sqrt{\frac{p * q}{n}}$

Nota: Universidad Internacional de las Américas.

Variables

Para el logro del cumplimiento de los objetivos específicos es vital establecer la estrategia para el desarrollo y solución de estos. En la Tabla 1 se detalla las variables que los objetivos específicos plantean.

Tabla 1 Variables

Objetivos específicos	Variable	Conceptual	Operacional	Instrumental
Describir el proceso de producción de armado de llantas.	Proceso de producción.	Conjunto diverso de operaciones planificadas para transformar ciertos insumos o factores en bienes o servicios determinados. (Raffino, 2021, párr. 1)	Descripción del proceso realizada vs descripción del proceso de armado de llantas.	Hoja de recolección de datos. Observación.
Determinar el % de la capacidad de producción.	Capacidad de producción.	La capacidad es la "producción" o número de unidades que pueden caber, recibirse, almacenarse, o producirse en una instalación en determinado periodo de tiempo. (Heizer y Render, 2008, p. 362).	Producción promedio por día por máquina/Capacidad de producción por día por máquina.	Sistema AS400 (Ver Apéndice A).

Objetivos específicos	Variable	Conceptual	Operacional	Instrumental
Identificar las causas de los tiempos no operativos.	Tiempos no operativos.	Tiempo de demoras incurridos en paradas de máquinas debido a que no se cuenta con los elementos necesarios para llevar a cabo la tarea. (Villajulca, 2011, párr. 1).	Horas no operativas por día / Horas disponibles de máquina.	Sistema traksys (Ver Apéndice B).
Definir una propuesta de rediseño para cumplir con la meta propuesta.	Propuesta de rediseño.	Iniciativas para realizar mejoras significativas al rendimiento organizacional con base en el aumento de la eficiencia y la efectividad de procesos de negocio claves, sin tomar en cuenta la magnitud o el sentido de estos cambios. (Jaya, 2018, párr. 24)	Objetivos del proyecto cumplidos vs objetivos planteados.	Análisis estadístico de medias y desviación estándar en minitab (Ver Apéndice C)
Desarrollar propuestas de control de las mejoras planteadas.	Métodos de control.	Proceso para asegurar que las actividades reales se ajusten a las actividades planificadas. Permite mantener a la organización o sistema en buen camino. (Fontt, 2021, párr. 1).	Cantidad de controles realizados vs controles propuestos.	Modificación de Instructivos de trabajo en SFD (Ver Apéndice D).

Nota: David Barrios Delgado.

Instrumentos

De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018): “Para cada variable definida en la sección anterior se determina los recursos requeridos para poder ser llevadas a cabo, así como los beneficios esperados al lograr cumplir cada indicador. Toda medición o instrumento de recolección de datos debe reunir tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad” (p. 200).

En la

Tabla 2 se detalla los instrumentos mencionados.

Tabla 2 Instrumentos

Indicador	Instrumento	Recursos requeridos	Beneficios esperados
Cantidad de procesos descritos / total de procesos.	Hoja de recolección de datos.	Instructivos de trabajo y manuales de entrenamiento. Acceso a Word.	Conocimiento del proceso.
% de utilización de capacidad de producción.	Sistema AS400 (producciones por máquina).	Acceso a sistema AS400 (TI) (Ver Apéndice A) Cronómetro.	Conocimiento de capacidad de producción actual (lo que se requiere aumentar).
% tiempo no operativo por día y por máquina.	Sistema traksys (detalle de tiempos de paradas).	Acceso a sistema traksys (TI) (Ver Apéndice B) Cronómetro.	Conocimiento del impacto actual de los tiempos no operativos.
% de cumplimiento de objetivos específicos del proyecto.	Hoja de recolección de datos.	Acceso a software minitab (TI) (Ver Apéndice C) Tiempo de operadores para capacitación de mejoras Acceso a Excel.	Control y seguimiento del trabajo según cronograma.
% de avance de controles propuestos.	Hoja de recolección de datos.	Acceso a sistema SFD (Ver Apéndice D) Acceso a Excel.	Estabilidad de mejoras realizadas a través del tiempo.

Nota: David Barrios Delgado.

Proceso para la recolección de datos

La recolección de datos para poder tener la información necesaria para el análisis inicial de la situación actual se llevará a cabo siendo extraída de los softwares disponibles en la empresa. Para la obtención de datos de producciones por máquina y tiempos no operativos, se usarán los sistemas AS400 y traksys, respectivamente.

Adicional, los viernes de 2 pm a 5 pm se podrán realizar observaciones al proceso para recolección de datos para efectos de conocimiento del proceso.

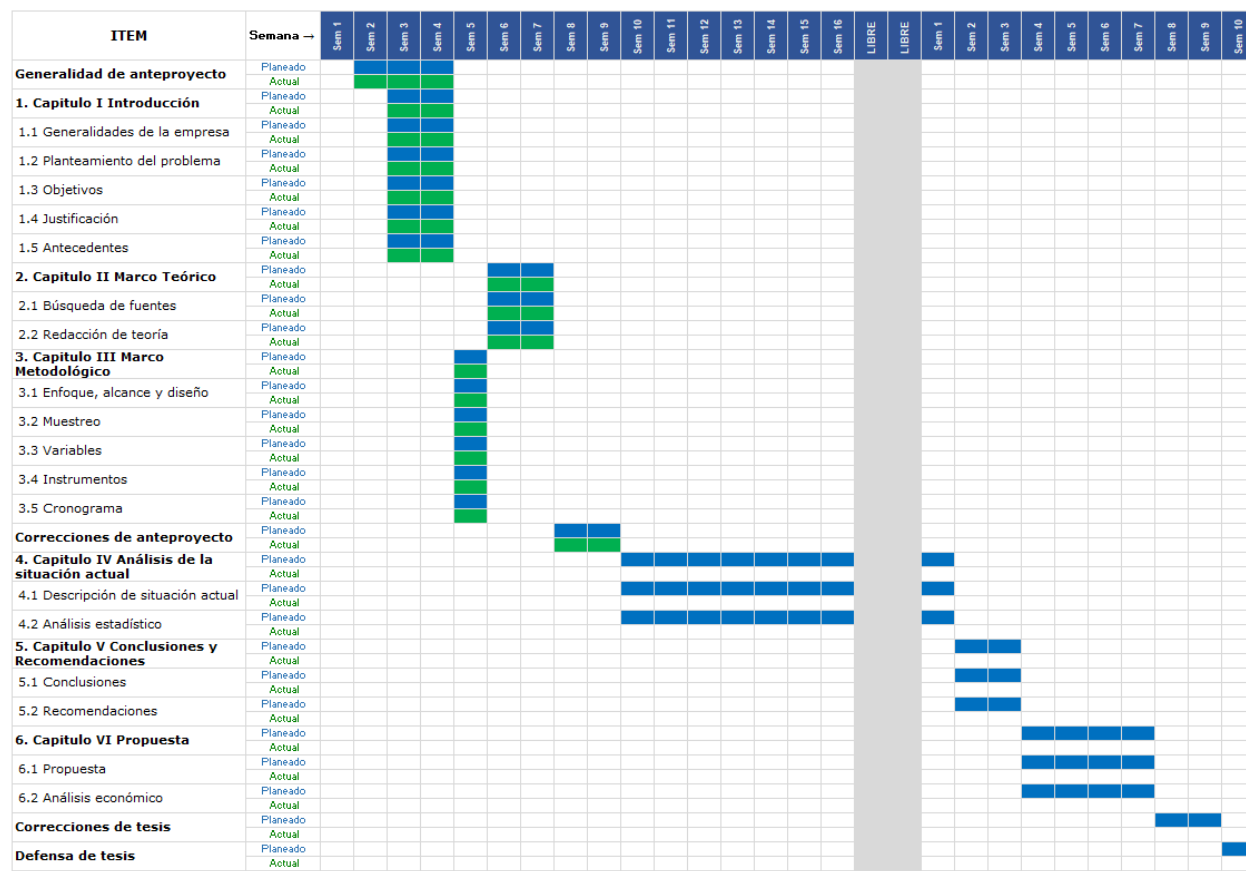
Método de análisis

La información extraída tanto de observaciones en máquina como de los sistemas disponibles en la empresa será procesada en los programas informáticos Excel y Minitab, con el fin de conocer la situación actual en cuanto flujo del proceso, producciones promedio por máquina, producciones promedio por grupo de máquinas, tiempos de demoras por máquinas y eficiencias de máquinas. Dicha información será procesada para visualizar las tendencias mediante el uso de las herramientas de gráfico de barra y diagrama de pareto.

Cronograma

Los avances del desarrollo del proyecto se visualizan en Figura 6.

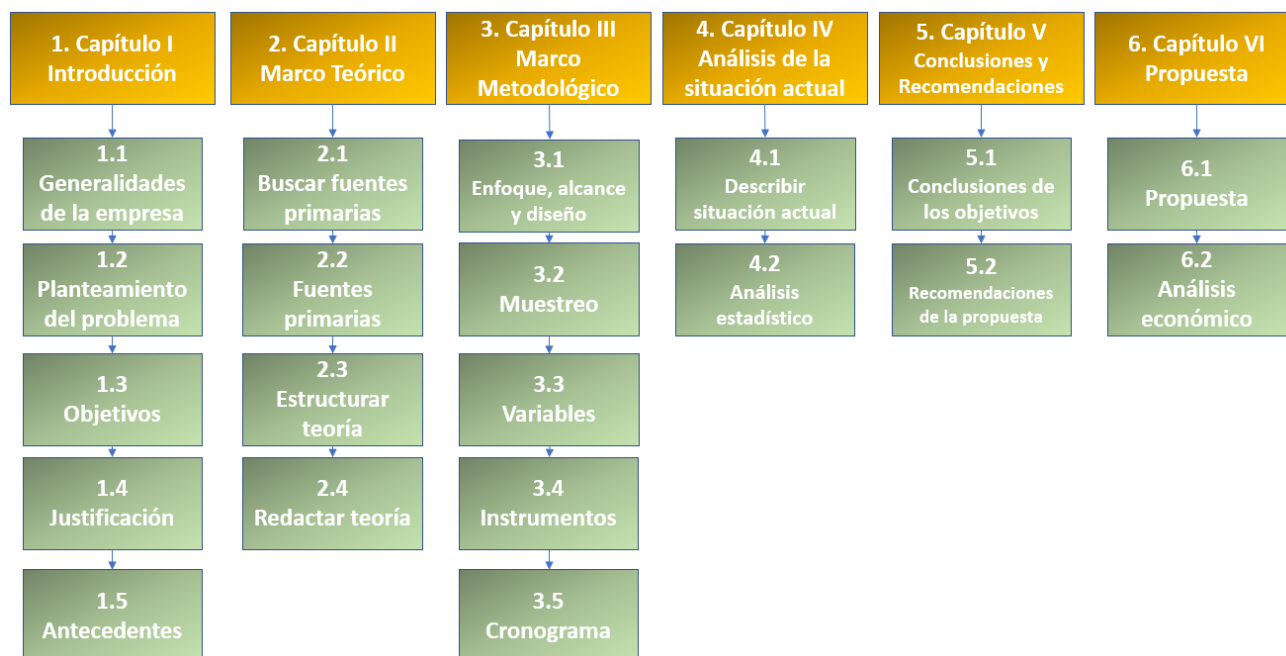
Figura 6 Cronograma del proyecto



Nota: David Barrios Delgado.

Los paquetes de trabajo para cada tarea indicada en la Figura 6, se destacan en la EDT del cronograma, mostrada en la Figura 7.

Figura 7 EDT



Nota: David Barrios Delgado.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En este apartado se explicará la organización del proceso productivo de la empresa, así como el detalle de los subprocesos que componen cada uno de los departamentos que lo conforman. De igual forma, se detalla los materiales resultantes de cada uno de los departamentos y cómo convergen todos en las 27 máquinas del Departamento de Armado, el cual es donde se realiza este proyecto. Posteriormente, se describirá el problema en estudio, sus consecuencias y sus causas.

Descripción del proceso productivo

Bridgestone de Costa Rica produce llantas de diversas medidas, material para reencauche de llantas y protectores. El proceso más importante es la fabricación de llantas que comienza en la bodega de materia prima, donde se encuentran los compuestos necesarios para la producción de llantas. Algunos componentes como las resinas se encuentran en estado granulado y otros como el negro de humo en polvo, además de materias primas, se manejan artículos tales como: bolsas, cajas, cubetas, etiquetas, disolventes, aceites.

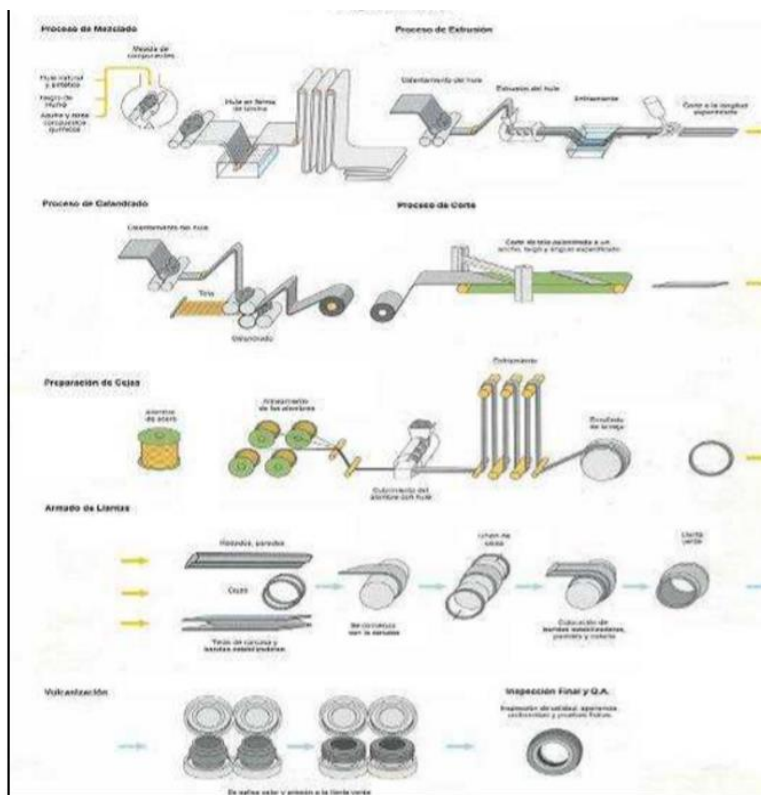
El proceso de producción está constituido por los siguientes departamentos productivos, mostrados según su orden de producción:

- Banbury.
- Tubuladoras.
- Steelastic.
- Calandras.
- Cortadoras.
- Aros.
- Armado.
- Vulcanización.

- Inspección final.

En la Figura 8 se muestra la secuencia de producción entre departamentos.

Figura 8 Secuencia de producción entre departamentos

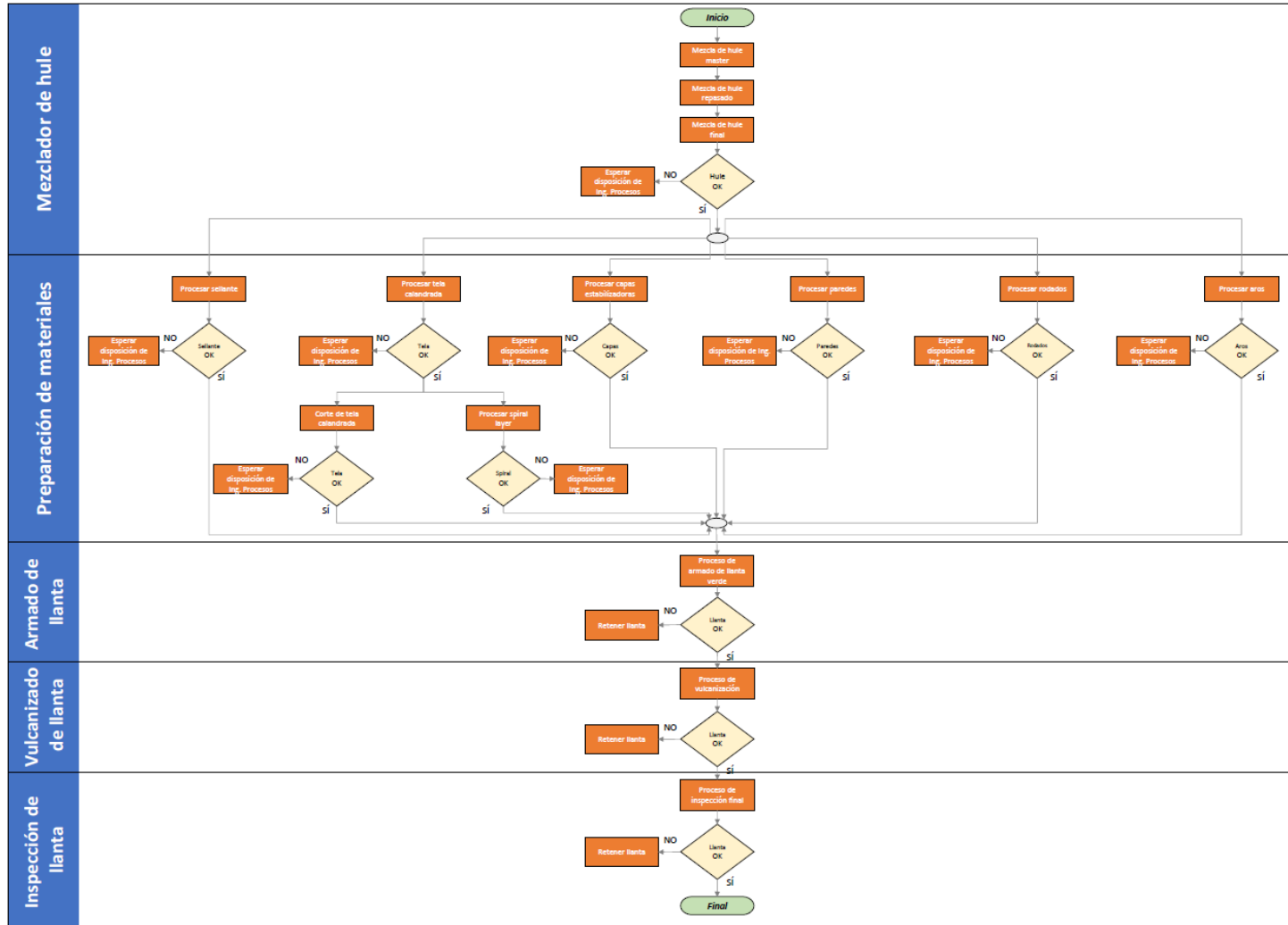


Nota: Bridgestone.

En la Figura 9 se visualiza el flujo de productivo entre departamentos que conlleva la fabricación de la llanta. El Departamento de Banbury mezcla y distribuye el hule mezclado para sus departamentos clientes: calandra de gomas, calandra textil, steelastic, tubuladora y aros. Estos, con el hule mezclado más otras materias primas en los departamentos que así lo requieren, procesan y fabrican varios compuestos que dan como salida: sellante, tela cortada, spiral layer, capas de acero, rodado, paredes y aros.

Todos los materiales convergen en el Departamento de Armado, que los arma y tiene como salida una llanta verde, la cual es enviada al departamento de vulcanización, en el que, una vez realizado su proceso de vulcanizado, la llanta es enviada al proceso de inspección final, donde se inspecciona la llanta en busca de defectos, y de resultar conforme es almacenada en la bodega de producto terminado. El proceso productivo inicia en el departamento de banbury y concluye en el de inspección final.

Figura 9 Flujo productivo



Nota: David Barrios Delgado.

Departamento de Banbury

Se inicia en este punto el proceso después que las materias primas han recibido la aprobación del laboratorio para su uso. El departamento consta de tres partes principales a saber: la cámara de mezclado y molino laminador, y el sistema de enfriamiento de láminas de hule.

El Banbury consiste en un mezclador de rotores donde se realiza la operación de incorporación de materias primas (pigmentos) al hule, los cuales han sido previamente pesados en una balanza destinada exclusivamente para ese propósito. En el Banbury, los hules y pigmentos son sometidos a cinco operaciones diferentes:

Amasado: Esta etapa tiene como objetivo principal matarle el nervio y plastificar el hule natural con el fin de disminuir su viscosidad. Esta operación se debe realizar a una temperatura que se encuentra entre 135 - 145°C.

Máster Batch: Consiste en incorporar al hule virgen (natural o sintético) todos los pigmentos, negro de humo y aceites que lleva una fórmula, menos los pigmentos acelerantes y al azufre, ya que se debe trabajar a temperaturas entre 160 -180 °C, para obtener una buena dispersión, que es una medida de calidad del mezclado, su escala está entre 1 y 7, siendo 1 la mejor y 7 la peor. La presencia de acelerantes y azufre a las temperaturas anteriores produciría que el hule vulcanice dentro de la cámara de mezclado del Banbury, generando que no se puede usar en procesos posteriores.

Repasado: Consiste en mezclar nuevamente el *máster batch* en la cámara sin agregar ningún componente con el fin de disminuir su viscosidad y mejorar su dispersión. La temperatura de operación está entre 120-180 °C. Los repasados pueden repetirse varias veces según el tipo de hule, para lograr los niveles de viscosidad requeridos.

Final: Consiste en agregar al *máster batch* o al repasado, los acelerantes, retardadores y el azufre. El tiempo de mezclado es pequeño, ya que debe trabajar a temperaturas de 90-110°C, para evitar la vulcanización de la mezcla. Después de esta etapa, el hule está listo para ser usado en otros departamentos del proceso.

El Banbury trabaja por cargas, cuando el motor que mueve, los rodillos han consumido la cantidad de energía de mezcla indicada, la cámara abre la compuerta y descarga en el carro cargador, el cual traslada el hule al molino del Banbury para ser laminado y enfriado un poco, antes de ser enviado al sistema de enfriamiento de láminas donde pasan por el *batch off*, que es una piletta con una

solución jabonosa, luego a un sistema de aspersión y posteriormente, las láminas se acomodan en el Festoon que es una lluvia en la cual una serie de abanicos permite que la lámina de hule pueda alcanzar la temperatura que se recomienda debe tener al salir del sistema de enfriamiento.

Luego de salir del sistema de enfriamiento, el hule es colocado en tarimas con su respectiva identificación y se le da el reposo necesario antes de procesarlo otra vez. El tiempo de duración del reposo varía en función del hule.

Departamento de Calandra

La calandra es una máquina que consta fundamentalmente de tres rodillos, colocados uno encima del otro, con circulación interna de vapor y agua para controlar la temperatura de estos, el hule que se procesa en esta máquina es suministrado por una banda transportadora que sale del molino alimentador y llega al rodillo superior.

El calandrado consiste en recubrir con una película de hule, los lados de la tela que se va a usar para formar el cuerpo de la llanta, esto con el objetivo de lograr una adhesión entre capas y evitar que las fibras de una de ellas entre en contacto con las de la otra.

El hule es alimentado a la calandra por un sistema de molinos, de lo cual cabe destacar que son molinos almacenadores. La tela que va a ser calandrada pasa entre el rodillo central y el inferior, de modo que el central debe tener adherido el hule a su superficie con el objeto de que se adhiera a la tela y esta tenga, al salir de la calandra, una capa uniforme de hule, tanto en sus bordes como en su zona central.

Departamento de Cortadoras

Luego que la tela ha sido calandrada, esta es cortada dependiendo del uso que se le vaya a dar, debido a que un solo tipo de tela puede ser usado en varios tipos de llantas. De la misma forma, existen llantas que requieren tipos de tela exclusivos.

Para esto, la tela se corta con un ancho y un ángulo especificado de acuerdo con tipo y tamaño de la llanta, así mismo y según la capa que sea, ya que cada llanta puede tener desde dos hasta ocho capas.

Departamento de Aros

La ceja de la llanta está constituida por hilos de alambre de acero, recubiertos con cobre y hule usado como aislante, entre el resto de la llanta y el alambre, también se usa material de relleno, refuerzo el cuales es para medidas angulares.

La operación se inicia cuando el alambre se toma de una batería de carruchas, de la cual se selecciona el número de hilos necesarios según sea el tamaño de la ceja a formar. Luego el alambre es pasado por una pequeña extrusora, la cual se encarga de recubrir los hilos con un hule especial para ello, quedando de esta manera los hilos aislados entre sí, también se coloca una capa de hule que envuelve a todos los hilos, luego se pasa a la unidad compensadora cuya función es suministrar alambre para que la ceja pueda ser arrollada continuamente; las veces que el cuerpo de hilos se debe arrollar depende del tamaño de la ceja.

Departamento de Steelastic

La capa estabilizadora de la llanta está constituida por hilos de alambre de acero y hule usado como aislante entre el resto de la llanta y el alambre, esto debido a que es la que brinda la estabilidad del rodado cuando la llanta ya está terminada.

La operación se inicia cuando el alambre se toma de una batería de carruchas, de la cual se selecciona el número de hilos necesarios, según sea el ancho de la capa que se va a formar.

Luego, el alambre es pasado por una extrusora, la cual se encarga de recubrir los hilos con un hule especial para ello, quedando de esta manera los hilos aislados entre sí, con el fin que no se muevan, están sujetos en forma permanente por una matriz o molde que los mantiene en una sola posición; posteriormente, se corta con una cuchilla especial con un determinado ángulo y un brazo automático los une nuevamente.

Después de esto, se le coloca una tira de hule conocida como orilla de capa, la cual brindará un mejor agarre de los cortes entre sí y de la capa estabilizadora a la carcasa.

Departamento de Tubuladora

Este departamento se encarga de procesar el hule proveniente del Banbury, con el cual se logra dar forma a los distintos componentes que se requieren dentro del proceso de los cuales se pueden

destacar: rodados, paredes, paredes banda blanca, costado negro, bases, banda para material de reencauché y protectores.

El inicio del proceso dentro de este departamento consiste en alimentar el hule proveniente del Banbury a las cabezas de extrusión o cámaras de extrusión dentro de las cuales gira un tornillo sin fin, el cual se encarga de moler el hule a cierta temperatura para luego transportarlo hasta la salida de la cabeza de la tubuladora.

En este punto se encuentra instalada una matriz (cubo de acero) que ha sido fresado para que obligue al hule a tomar la forma deseada para ser utilizado en el resto del proceso de extrusión del hule.

El hule que sale extruído, ya sea un rodado u otro componente, sale en una sola tira la cual es puesta sobre una banda transportadora que pasa por una balanza lineal que permite pesar constantemente el material en una distancia de un metro, luego pasa por una pequeña calandrita donde se le coloca el cojín sobre la base del rodado. Este consiste en una película de hule de aproximadamente un milímetro, el cual se coloca en caliente sobre el rodado con el objetivo de aumentar la adhesión de este con el cuerpo de la llanta al momento de armar la misma.

Posteriormente, la llanta pasa a la zona de cementado, donde existe un recipiente que contiene un cemento especial que es aplicado sobre la base del rodado y el cojín es limpiado de inmediato con unas brochas especiales con el fin de remover los excesos de cemento.

Después de esto, el rodado es introducido a una unidad de enfriamiento con agua, la cual consiste en una cámara que está a lo largo de una buena parte del sistema de rodillos donde se cuenta con aspersores para enfriar el rodado cuando pasa.

Al salir de esta unidad, el rodado es secado con aire a presión para después ser trasladado a la zona cortadora de rodado, la cual se encuentra en la misma línea del conveyor, aquí el rodado es cortado a una medida ya especificada, luego se cementan los extremos del rodado ya cortado para facilitar la adhesión de la unión al momento de armarse la llanta.

Posteriormente, se colocan en carros destinados especialmente para rodados y se dejan en reposo hasta pasar al Departamento de Armado, en el cual convergen todos los materiales provenientes del resto de departamentos.

Departamento de Armado

Los productos obtenidos en los Departamentos de Tubuladora, Calandras, Cortadoras, Steelastic y Aros convergen en esta dependencia.

El ensamble de la llanta se realiza en una máquina que consiste en un motor que acciona un eje en cuyo extremo se encuentra un tambor abatible, el cual es intercambiable para diferentes tamaños y diseños de llantas.

Este eje puede girar hacia adelante o hacia atrás, según se desee, girando libremente, dando una o media vuelta, de tal forma que el operador tenga un control completo sobre el tambor, ya que, sobre este, van colocando primero cierto número de capas de telas y luego se ubican las cejas y después otro número de capas para formar el cuerpo de la carcasa, en seguida las paredes laterales, las capas estabilizadoras y finalmente, el rodado.

El tambor es abatido y el producto obtenido se denomina llanta verde. En este punto, la llanta ya está terminada faltándole únicamente moldearse y vulcanizarse en la siguiente etapa.

La llanta verde se le conoce a aquella sin su proceso de vulcanización. En la Figura 10 se muestra una llanta verde.

Figura 10 Llanta verde



Nota: Bridgestone

Departamento de Vulcanización

Esta etapa es de mucho cuidado, ya que una falla, generalmente produce una llanta por desechar, debido a que el hule vulcanizado no es reprocesable.

Para llevar a cabo la vulcanización, se cuenta con prensas especiales, que constan de dos cavidades. En estas se colocan las dos tapas de los moldes de las llantas que están formados por dos partes, la de abajo que permanece fija en la prensa y la de arriba que es móvil al momento en que la prensa se abre.

Las prensas se calientan circulando vapor dentro del domo que cubre los moldes, el cual se usa para este efecto. En el centro del molde que permanece fijo se coloca el *bladder* (una especie de bolsa de hule de forma cilíndrica), al cual llegan tuberías con agua caliente y fría para que la vulcanización se dé en dos direcciones, ya que la llanta queda colocada entre el molde y el *bladder*, por lo que recibe calor, tanto externa como internamente, además que el *bladder* ayuda a la buena formación de la llanta.

Para obtener una adecuada distribución del calor a través de toda la llanta, es necesario aplicarle diferentes pasos con un cierto tiempo cada uno. Al conjunto de todos estos pasos se le denomina ciclo de vulcanización.

Las prensas cuentan con programadores digitales para los ciclos, mediante un sistema de válvulas accionadas por aire.

Departamento de Inspección Final

Aquí se revisan cuidadosamente todas las llantas vulcanizadas, tanto interna como externamente, procurando detectar cualquier defecto por pequeño que este sea. Pasan por un proceso de desvirado, donde se le quitan los excedentes de hule, que en el momento de la vulcanización tuvieron la función de fugas de aire.

Luego de realizada la inspección manual, las llantas se pasan por la máquina TUO (Tire Uniformity Optimizer) para determinar su uniformidad. Después de la inspección, si la llanta está conforme se traslada a la bodega de producto terminado y posteriormente al centro de distribución, si no está conforme se traslada al área de retrabajo.

Descripción del producto

La empresa Bridgestone en Costa Rica produce llantas para automóvil, y estas están compuestas de diversos materiales que, a la vez, los componen diversas materias primas.

Componentes

Los componentes principales de una llanta son:

- Hule (natural o sintético).
- Fibras (Polyester y Nylon).
- Aditivos químicos (Negro de humo, azufres, Azufre y aceites, entre otros).
- Hilos de acero.

Zonas básicas

Las principales partes de la llanta son:

- Banda de rodamiento.
- Costado-Pared.
- Ceja.
- Sellante.

Las principales partes de la llanta son:

Banda de rodamiento.

Es la parte de la llanta que entra en contacto con el pavimento. Su formulación varía de acuerdo con el tipo de servicio. Debe tener alta resistencia a los cortes, impactos, desgarres y desgaste. En la Figura 11 se muestra este componente de la llanta.

Figura 11 Banda de rodamiento



Nota: Bridgestone.

Costado-Pared.

Su función es soportar la flexión de la llanta. Debe resistir las altas temperaturas generadas en servicio. Protege la llanta de agresiones del ambiente. En la Figura 12 se muestra este componente de la llanta.

Figura 12 Costado-Pared



Nota: Bridgestone

Ceja.

Mantiene unida la llanta al vehículo a través del aro. Es la zona de su mayor fortaleza. En la Figura 13 se muestra este componente de la llanta.

Figura 13 Ceja



Nota: Bridgestone.

Sellante.

Es un compuesto de hule especial que evita el escape del aire. En la Figura 14 se muestra este componente de la llanta.

Figura 14 Sellante

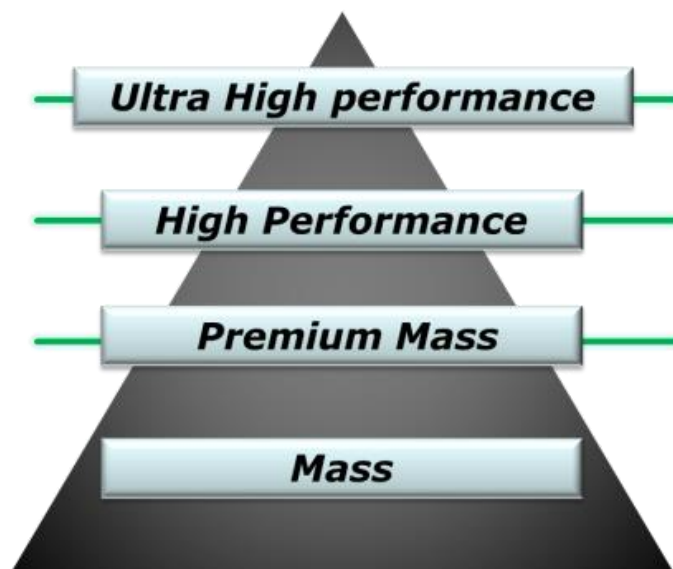


Nota: Bridgestone.

Tipos de productos

Las llantas se dividen en cuatro familias, clasificadas según su uso. En la Figura 15 se muestran los tipos de productos.

Figura 15 Tipos de productos



Nota: Bridgestone.

Las características de las llantas se comentan a continuación:

Mass Market.

Son de uso moderado sin gran exigencia en su aplicación. Usos preferentemente de ciudad a velocidades moderadas. En la

Figura 16 se ilustra este tipo.

Figura 16 Llantas Mass Market



Nota: Bridgestone.

Premium Mass Market.

Se utiliza para requerimientos de uso medio. Presentan frenaje y tracción en superficies mojadas y secas. Tienen buen agarre y estabilidad. En la

Figura 17 se ilustra este tipo de llanta.

Figura 17 Llantas Premium Market



Nota: Bridgestone.

High Performance.

Requerimientos de uso exigente. Tiene perfiles bajos y apariencia deportiva. Con estilos de manejo que privilegian características técnicas para el desempeño. En la Figura 18 se ilustra este tipo de llanta.

Figura 18 Llantas High Performance



Nota: Bridgestone.

Ultra High Performance.

Requerimientos de uso de exigencia alta. Perfiles bajos y apariencia deportiva. Estilos de manejo exigente. En la

Figura 19 se ilustra este tipo de llanta.

Figura 19 Llantas Ultra High Performance



Nota: Bridgestone.

Mercados de exportación

Actualmente, la empresa exporta sus productos alrededor del mundo a Estados Unidos, Japón, Colombia y Venezuela. En el área de Centroamérica se exporta a Belice, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. En el Caribe se exporta a Gran Caimán, Jamaica, Haití, República Dominicana, Santa Lucía y Barbados. En la

Figura 20 se ilustra el flujo de los mercados de exportación de Bridgestone.

Figura 20 Mercados de exportación



Nota: Bridgestone.

Descripción del problema

Cada mes se establece el requerimiento de producción del siguiente mes, y partir de tal requerimiento se establecen los objetivos de producción por máquina. En el Departamento de Armado operan 27 máquinas armadoras de llanta verde, agrupadas en cuatro grupos distintos, según su tecnología y capacidad. La cantidad de máquinas agrupadas se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3 Cantidad de máquinas agrupadas por tipo de tecnología

Grupo de máquinas	Cantidad de máquinas
KB	13
KR	4
Módulos	4
X99	6

Nota: David Barrios Delgado.

Las máquinas KB son las de mayor tecnología, así como las de mayor cantidad, pues se tienen trece máquinas en operación, respecto a las 4, 4 y 6 máquinas de las de tipo KR, Módulos y X99, respectivamente.

En términos de capacidad de producción, y en específico del tipo de aro de la llanta capaz de producir, los cuatro grupos de máquinas operan, según se detalla en la Tabla 4, donde el color rojo indica que no está habilitada para producir el tipo de aro mostrado, mientras que el color verde indica que sí está habilitada para producirlo.

Tabla 4 Capacidad de producción por aro

Grupo de máquinas	Aro 13	Aro 14	Aro 15	Aro 16	Aro 17	Aro 18
KB	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
KR	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo
Módulos	Verde	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo
X99	Verde	Verde	Verde	Rojo	Rojo	Rojo

Nota: David Barrios Delgado.

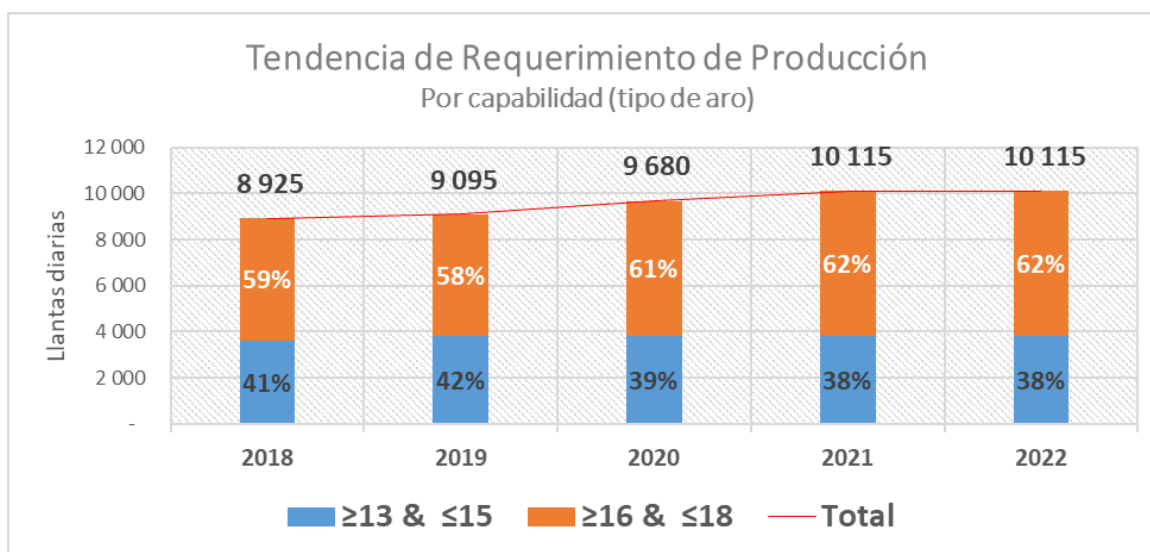
Tal y como se muestra en la Tabla 4, el grupo KB producen llantas cuyo aro es ≥ 16 y hasta aro igual a 18, las máquinas KR producen llantas cuyo aro sea igual a 16 o 17, mientras que los grupos Módulos y X99 producen llantas cuyo sea ≥ 13 y hasta aro igual a 15.

Cada mes, con el requerimiento de producción establecido, se distribuyen la cantidad y el tipo de medida de llanta a producir en cada grupo de máquinas, tomando en cuenta el factor del tipo de aro habilitado para producir.

Tal y como se muestra en la Figura 21, el requerimiento de producción presenta un incremento notorio desde el año 2020, que se acentúa para el año 2021 y continuará para el año 2022. En el año 2018, la cantidad de llantas requeridas a producir por día era de 8.925 unidades, mientras que en el año 2021 es de 10.115 unidades (13,33% de incremento), misma cantidad proyectada a producir en el año 2022.

En términos del requerimiento de producción por tipo de aro, y agrupadas en dos categorías, las llantas cuya medida de aro pertenecen a la categoría de ≥ 13 y ≤ 15 muestran una tendencia de disminución, y en contraparte, las llantas cuya medida de aro pertenecen a la categoría de ≥ 16 y ≤ 18 muestran una tendencia al incremento. Los porcentajes del total de producción requerida por estas dos categorías de aro se detallan en la Figura 21.

Figura 21 Tendencia del requerimiento de producción por tipo de aro

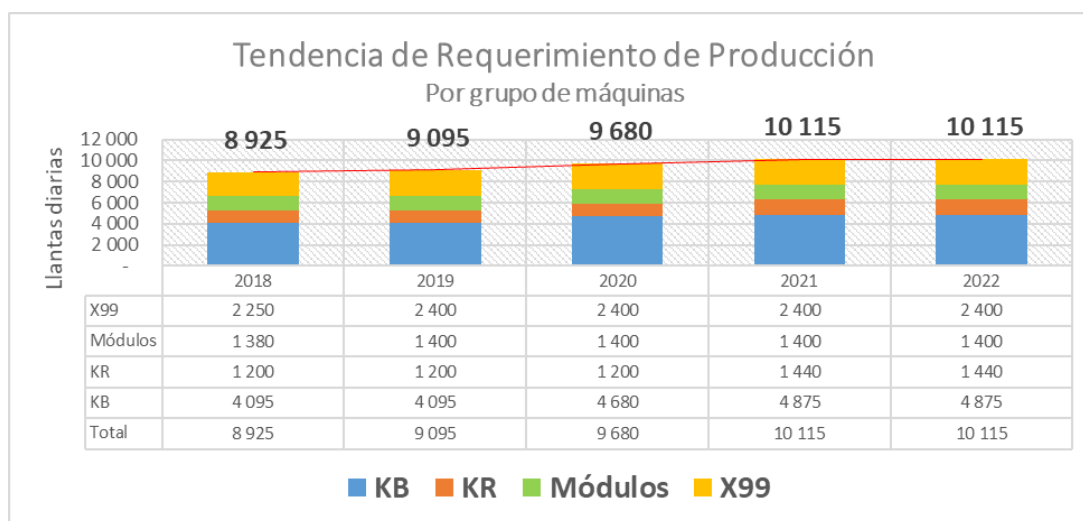


Nota: David Barrios Delgado.

La producción de la categoría de aro de ≥ 13 y ≤ 15 es asumida por las máquinas de los grupos Módulos y X99, mientras que la producción de la categoría aro de ≥ 16 y ≤ 18 es asumida por las máquinas de los grupos KB y KR.

En la Figura 22 se detalla la cantidad de producción requerida por cada grupo de máquinas. La mayor cantidad de producción es requerida en el grupo de máquinas KB, abarcando un 48,20% del total de llantas producidas, equivalente a 4.875 unidades diarias.

Figura 22 Tendencia del requerimiento de producción por grupo de máquinas



Nota: David Barrios Delgado.

El requerimiento diario de 10.115 llantas del año 2021 y 2022, desglosado tanto por grupo de máquinas como por cada tipo de aro se puede visualizar en la matriz detallada en la Tabla 5.

Tabla 5 Matriz de producción por grupo de máquinas y tipo de aro

Grupo de máquinas	Aro 13	Aro 14	Aro 15	Aro 16	Aro 17	Aro 18	Requerimiento Uds	% Producción
KB				1 590	1 590	1 694	4 875	48,2%
KR					1 440		1 440	14,2%
Módulos		994	406				1 400	13,8%
X99	99	497	1 804				2 400	23,7%
Producción	99	1 491	2 210	1 590	3 030	1 694	10 115	100%
Tipo de aro %	1%	15%	22%	16%	30%	17%	100%	

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se detalla en la Tabla 5, el requerimiento de producción de llantas cuya medida de aro es ≥ 16 y ≤ 18 abarca un 62,4% del total de unidades requerido.

Para alcanzar el requerimiento total de producción diario de 10.115 unidades, cada máquina de cada grupo debe producir acorde a lo requerido, para lo cual, se definen cantidades objetivo para cada máquina, y se alinean a esas cantidades, aunque se cuente con una mayor capacidad de producción.

Las máquinas KB, las cuales son 13 máquinas, promediaron en el año 2020 352 llantas por día, mientras que el requerimiento era de 360 llantas por día, y se tenía una capacidad de producción para 360 llantas por día. En la Tabla 6 se detalla el comparativo de producción promedio, producción objetivo y capacidad de producción de las máquinas KB desde el año 2018.

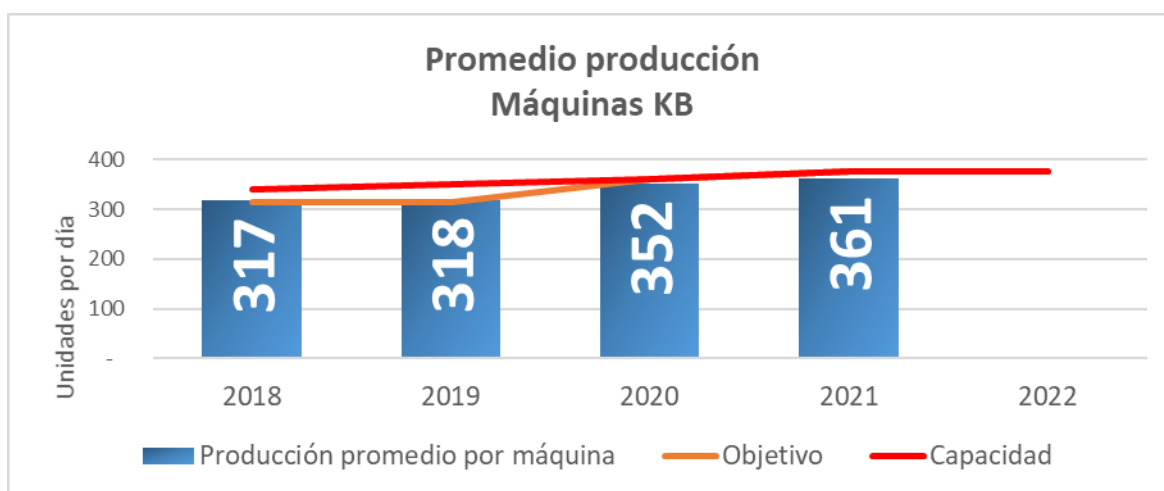
Tabla 6 Tendencia de producción máquinas KB

Grupo de máquinas		2018	2019	2020	2021	2022
KB	Producción promedio por máquina	317	318	352	361	
	Objetivo	315	315	360	375	375
	Capacidad	340	350	360	375	375

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede observar en la Figura 23, las máquinas KB tienen el objetivo de producción para los años 2021 y 2022 igual al de su capacidad. El promedio de producción real está por debajo del objetivo.

Figura 23 Requerimiento de producción máquinas KB



Nota: David Barrios Delgado.

Las máquinas KR, las cuales son 4 máquinas, promediaron en el año 2020 312 llantas por día, mientras que el requerimiento era de 300 llantas por día, y se tenía una capacidad de producción

para 360 llantas por día. En la Tabla 7 se detalla el comparativo de producción promedio, producción objetivo y capacidad de producción de las máquinas KR desde el año 2018.

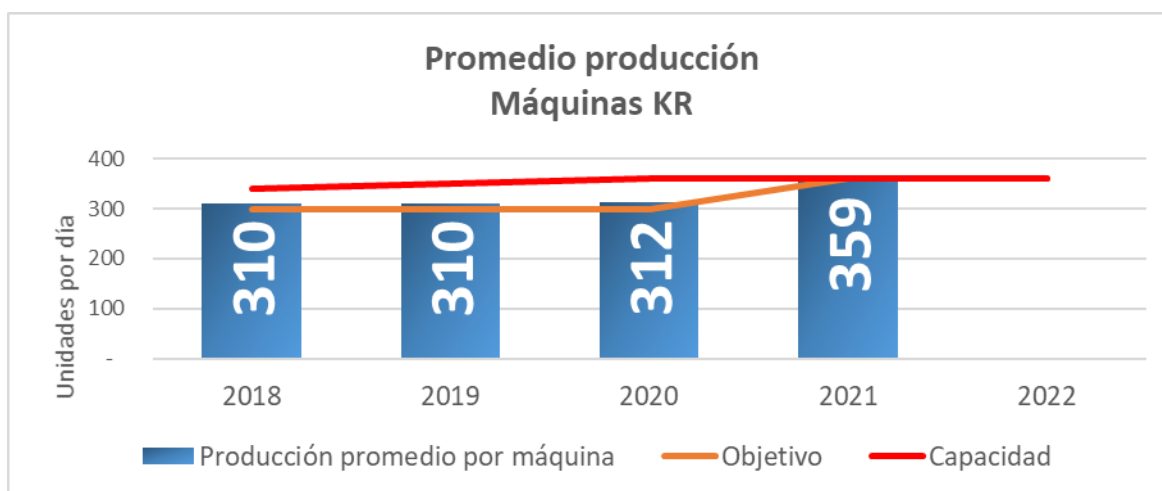
Tabla 7 Tendencia de producción máquinas KR

Grupo de máquinas		2018	2019	2020	2021	2022
KR	Producción promedio por máquina	310	310	312	359	
	Objetivo	300	300	300	360	360
	Capacidad	340	350	360	360	360

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede observar en la Figura 24 , las máquinas KR tienen el objetivo de producción para los años 2021 y 2022, igual al de su capacidad. El promedio de producción real está por debajo del objetivo.

Figura 24 Requerimiento de producción máquinas KR



Nota: David Barrios Delgado.

Las máquinas Módulos, cuatro en total, promediaron en el año 2020 359 llantas por día, mientras que el requerimiento era de 350 llantas por día, y se tenía una capacidad de producción para 400 llantas por día. En la Tabla 8 se detalla el comparativo de producción promedio, producción objetivo y capacidad de producción de las máquinas Módulos desde el año 2018.

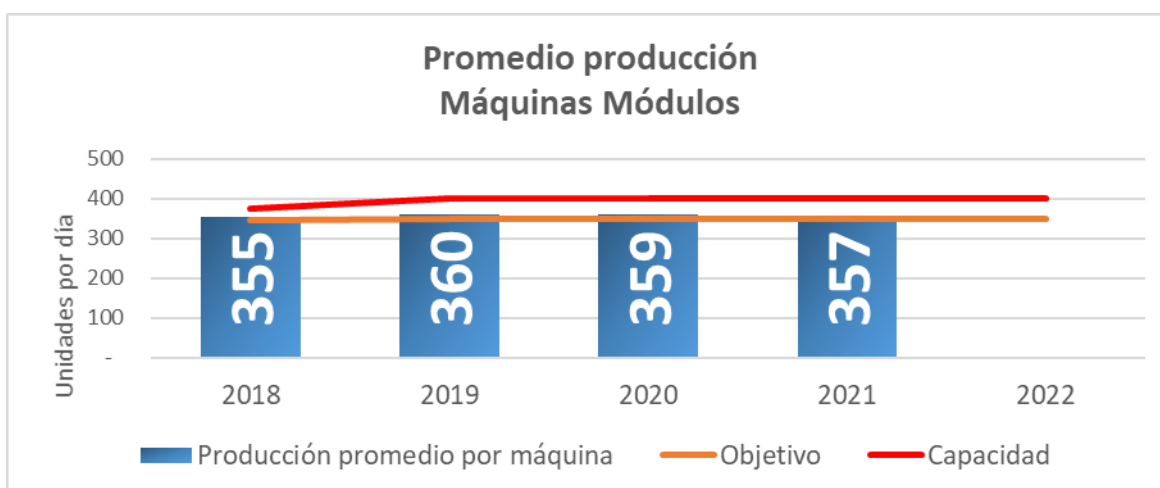
Tabla 8 Tendencia de producción máquinas Módulos

Grupo de máquinas		2018	2019	2020	2021	2022
Módulos	Producción promedio por máquina	355	360	359	357	
	Objetivo	345	350	350	350	350
	Capacidad	375	400	400	400	400

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede observar en la Figura 25, las máquinas Módulos tienen el objetivo de producción para los años 2021 y 2022 por debajo de su capacidad. El promedio de producción real está por arriba del objetivo.

Figura 25 Requerimiento de producción máquinas Módulos



Nota: David Barrios Delgado.

Las máquinas X99, en total cuatro, promediaron en el año 2020 410 llantas por día, mientras que el requerimiento era de 400 llantas por día, y se tenía una capacidad de producción para 475 llantas por día. En la Tabla 9 se detalla el comparativo de producción promedio, producción objetivo y capacidad de producción de las máquinas X99 desde el año 2018.

Tabla 9 Tendencia de producción máquinas X99

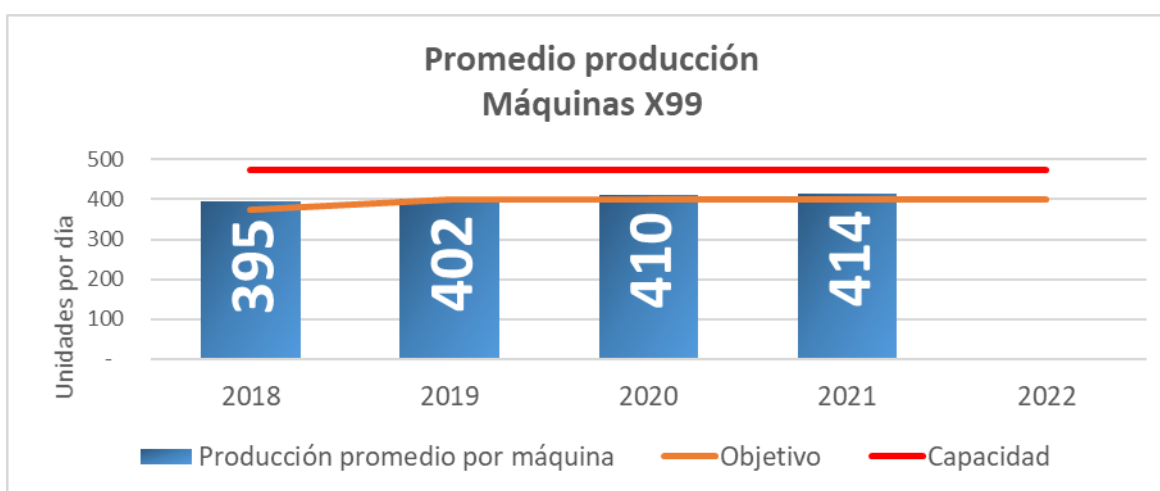
Grupo de máquinas	2018	2019	2020	2021	2022
-------------------	------	------	------	------	------

X99	Producción promedio por máquina	395	402	410	414
	Objetivo	375	400	400	400
	Capacidad	475	475	475	475

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede observar en la Figura 26Figura 25, las máquinas X99 tienen el objetivo de producción para los años 2021 y 2022 por debajo de su capacidad. El promedio de producción real está por arriba del objetivo.

Figura 26 Requerimiento de producción máquinas X99



Nota: David Barrios Delgado.

El problema radica del proyecto radica en que no se está cumpliendo el plan de producción, de acuerdo con las cantidades requeridas y las producciones reales.

La cantidad de llantas que se incumplen pertenecen al grupo de las de aro ≥ 16 y ≤ 18 , las cuales abarcan un 62,4% del total de unidades requerido.

Se tiene un problema de capacidad de producción para el grupo de máquinas KB, donde debería abarcarse el 48,2% de la producción diaria. En este grupo, las máquinas promedian 361 llantas diarias y se requiere que produzcan igual o mayor a 375 llantas.

Capacidad de producción

La capacidad de producción de las máquinas KB está sujeta a las demoras sobre el ciclo de producción y a los tiempos no operativos de la máquina.

Ciclo de producción.

El ciclo de producción de armado de las llantas en las máquinas KB es de 2,54 min por llanta. Cada segundo adicional se considera una demora sobre el ciclo de producción. Sin embargo, se considera un 3% de fatiga del operador de máquina a lo largo del turno, por lo que por encima del ciclo estándar se considera aceptable una duración de 2,62 min por llanta. La Tabla 10 muestra el detalle de los tiempos de ciclo en las máquinas KB.

Tabla 10 Ciclo de producción estándar

Rubro	Cantidad	UM
Ciclo de producción estándar	2,54	min/llanta
Fatiga considerada	3%	%
Ciclo de producción estándar + % Fatiga	2,62	min/llanta

Nota: David Barrios Delgado.

Tiempos no operativos.

Con respecto a los tiempos no operativos, de acuerdo con la Tabla 11, el grupo de máquinas KB opera con un porcentaje del 27,82%. Este porcentaje se ve reducido o aumentado en función del porcentaje real de tiempos no operativos en cada día.

Por lo tanto, las máquinas KB operan con una utilización de máquina del 72,18%, lo cual quiere decir que, de las 22 horas disponibles por día operan 15,88 horas. Las restantes 6,12 horas corresponde a tiempos no operativos, el cual equivale al 27,82% mencionado.

Tabla 11 Utilización de máquinas KB

Rubro	Detalle
13,00	Cantidad de máquinas KB en producción.
22,00	Horas diarias disponibles por cada máquina KB.
286,00	Horas diarias disponibles entre todas las máquinas KB.
79,56	Horas diarias de demora por tiempos no operativos.
27,82%	Porcentaje de tiempos no operativos por día de máquinas KB.
72,18%	Porcentaje de utilización de producción de máquinas KB.

Nota: Bridgestone.

De acuerdo con la información referente al ciclo de producción y los tiempos no operativos, la capacidad de la producción de las máquinas KB es, por tanto, 375 llantas por día. En la Tabla 52 se muestra el detalle de la capacidad de producción.

Tabla 12 Capacidad de producción máquinas KB

Rubro	Cantidad	UM
Tiempo disponible	22,00	hrs/día
% Tiempos no operativos	27,82%	%
Tiempo real disponible	15,88	hrs/día
Ciclo de producción de llanta	2,54	min/llanta
Capacidad de producción	375	llantas/día

Nota: David Barrios Delgado.

Medición de las consecuencias

El rendimiento de algunas máquinas es seguido a nivel corporativo para todas las plantas homólogas. En el caso de la planta de Costa Rica, las máquinas KB son las únicas monitoreadas a nivel corporativo, y partir del año 2020, los objetivos de producción para este grupo son definidos por la corporación. El objetivo de 375 llantas diarias por máquina para el año 2021 no solamente nace de necesidades de producción, sino que está establecido corporativamente. En el año 2020, las diferentes plantas de producción de la región se rigieron bajo ese lineamiento corporativo, y tal y como se muestra en la Tabla 13, la planta de Costa Rica incumplió el objetivo propuesto.

Tabla 13 Objetivos de producción corporativos KB 2020

	Costa Rica	Argentina	Brasil #1	Brasil #2
Planta →	BSCR	BSAR	BRB	BRS
Cantidad de máquinas	13	23	16	18
Producción promedio por máquina	352	302	388	394
Objetivo de producción por máquina	360	325	380	385

Nota: Bridgestone.

Análisis de las causas

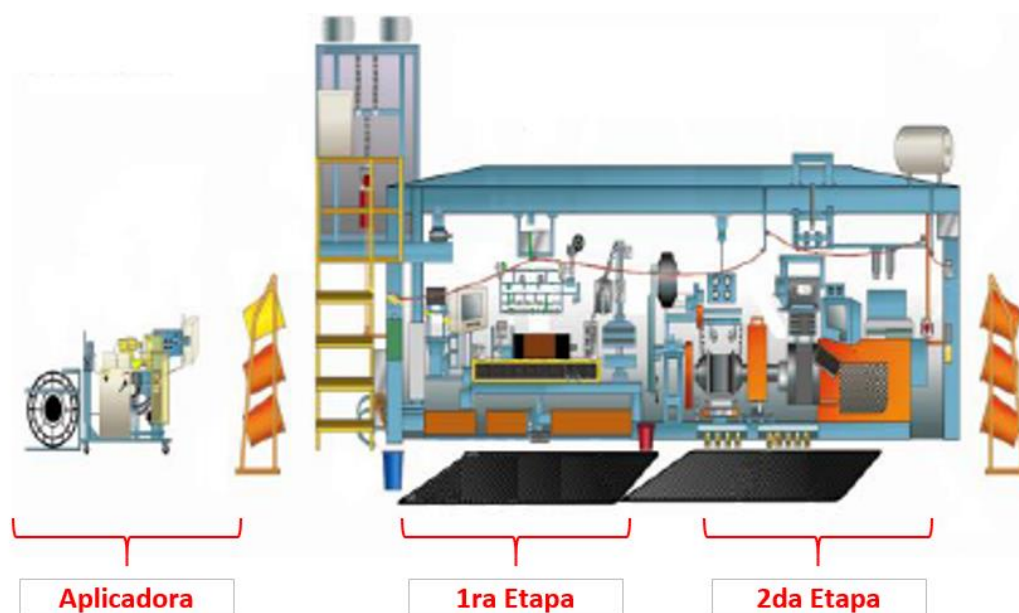
Las máquinas KB requieren aumentar su producción, y, para ello, es necesario incrementar su capacidad de producción diaria. Los aspectos más relevantes para lograrlo son reducir el tiempo de ciclo o los tiempos no operativos del proceso, o bien, aumentar las velocidades de producción.

Situación actual - Ciclo de producción

Tal y como se mencionó, el ciclo de producción del armado de una llanta en las máquinas KB es de 2,54 minutos por cada una. Durante el ciclo de producción tiene intervención el operador y la máquina. Con respecto a la máquina, se divide en dos partes, el tambor de primera etapa y el tambor de segunda etapa. La parte ensamblada en la primera etapa se traslada a la segunda etapa para continuar su proceso de ensamble con más materiales. La

Figura 27 muestra la parte frontal de la máquina KB-13, y la ubicación de la primera y segunda etapa, así como la máquina aplicadora de filler (ubicada en la primera etapa).

Figura 27 Imagen frontal de máquina KB



Nota: Bridgestone.

En la Tabla 14 se resume los materiales que se ensamblan según la etapa de la máquina.

Tabla 14 Materiales aplicados en las máquinas KB

Primera etapa	Segunda etapa	Aplicadora
Sellante	Capa 1	Aros
Tela 1	Capa 2	Cejas
Tela 2	Spiral layer	
Pared 1	Rodado	
Pared 2		

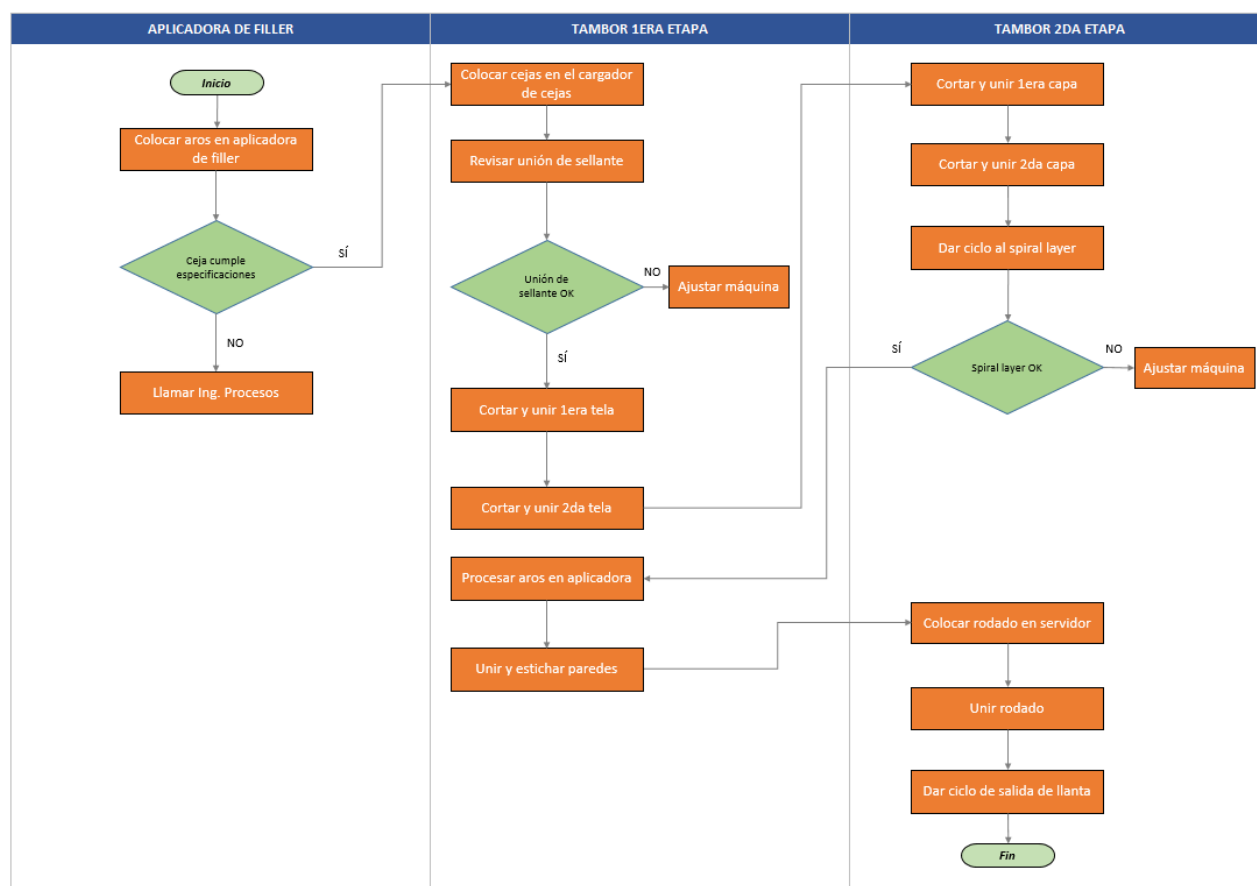
Nota: David Barrios Delgado.

El operador de la máquina debe asegurar que cada material colocado por la máquina quede ensamblado de la forma correcta, y debe estar tener movimientos entre la máquina la primera etapa y la segunda etapa.

En la

Figura 28 se muestran las intervenciones del operador de la máquina por etapa del ciclo.

Figura 28 Diagrama de flujo actual de intervenciones del operador en la máquina KB



Nota: David Barrios Delgado.

Luego de las intervenciones del operador en la máquina, esta procede a realizar su proceso de ensamble de materiales.

Con el fin de evaluar la relación en el tiempo de ciclo entre las acciones del operador y la máquina, se elabora el diagrama hombre-máquina. El objetivo es identificar la secuencia de acciones entre el operador y la máquina, para, a su vez determinar el tiempo empleado por cada parte y relacionarlos para optimizar el proceso en los puntos del ciclo de producción de la llanta que sea posible.

En la

Figura 29 se detalla el diagrama hombre-máquina en las máquinas KB.

Figura 29 Diagrama hombre-máquina actual del ciclo de producción de llanta máquina KB

BRIDGESTONE			
Diagrama hombre-máquina ACTUAL			
Máquina KB-13			
t (s)	OPERADOR	TAMBOR 1RA ETAPA	TAMBOR 2DA ETAPA
1			
3			
5	Colocar aros en aplicadora de filler	Aplicación de sellante	Inactividad
7			
9			
11			
13	Colocar cejas en el cargador	Inactividad	
15			
17			
19	Revisar unión de sellante		
21			
23			
25		Aplicación de 1ra tela	
27			
29	Cortar y unir 1ra tela		
31			
33			
35			
37		Aplicación de 2da tela	
39			
41	Cortar y unir 2da tela		Aplicación de 1ra capa
43			Inactividad
45			
47			
49			
51	Cortar y unir 1ra capa		
53			
55			
57	Inactividad		Aplicación de 2da capa
59			
61			
63			
65	Cortar y unir 2da capa	Stichado de telas	
67			
69			
71	Inactividad		
73			
75			
77			
79	Dar ciclo de spiral layer		
81			
83			
85	Procesar aros en aplicadora	Aplicación de paredes	Ciclo de spiral layer
87			
89		Inactividad	
91			
93			
95	Unir y stichar paredes		Inactividad
97			
99			
101			
103			
105	Colocar rodado en servidor		
107			
109			
111			
113	Unir rodado		
115			
117			
119	Dar ciclo de salida de llanta		
121			
123		Stichado de paredes	Inactividad
125			
127			
129			
131			
133			
135			
137			
139			
141			
143			
145			
147			
149			
151		Salida de llanta	
153			

Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con el diagrama-hombre máquina mostrado en la

Figura 29, la primera etapa de la máquina es el cuello de botella del ciclo de producción de la llanta. La primera etapa tiene un tiempo productivo de 148,40 segundos de los 152,4 segundos de duración del ciclo (2,54 minutos). La segunda etapa tiene un tiempo productivo de 60,40 segundos de los 152,4 segundos de duración del ciclo (2,54 minutos). En contraparte, el operador tiene un tiempo productivo de 106,40 segundos, y 46 segundos de inactividad en tres lapsos diferentes. Se concluye que el tiempo de la primera etapa de la máquina y es el proceso cuello de botella, y que para disminuir el tiempo de ciclo es necesario reducir las velocidades de producción de la máquina o el tiempo inactivo.

En la Tabla 15 se muestra la comparación entre el tiempo productivo e inactivo según el resultado del diagrama hombre-máquina.

Tabla 15 Tiempo productivo vs inactivo del diagrama hombre-máquina actual

	Hombre	Máquina	
		1ra etapa	2da etapa
Tiempo productivo	106,40	148,40	60,40
Tiempo inactivo	46,00	4,00	92,00

Nota: David Barrios Delgado.

Cabe destacar que los tiempos productivos desglosados del operador y máquina son, de acuerdo con el departamento de Ingeniería de Procesos, estándar a nivel corporativo. La variación entre tiempos de ciclo entre distintas máquinas o plantas cambia en función de la tecnología invertida o el tipo de llanta que produzca. La existencia del estándar corporativo para las velocidades de producción tiene que ver con evitar problemas de calidad en las llantas por alta o baja velocidad de ejecución de ensamble de materiales por parte de la máquina y el hombre. El grupo de máquinas KB operan con tales tiempos estándar.

Con relación a los tiempos de inactividad del ciclo de producción, cada planta tiene máquinas con diferente tecnología que hace que estos tiempos puedan verse reducidos o eliminados. Tal es el caso de las máquinas KB de la planta de Brasil, las cuales no cuentan con máquina aplicadora de filler, por ende, los pasos del operador referentes a los materiales aros y cejas son realizados por la máquina automáticamente. En el caso de la planta de Costa Rica todas sus máquinas KB trabajan con máquinas aplicadoras de filler.

Situación actual – Tiempos no operativos

Cada máquina KB opera con el software traksys, en el cual, los operadores de máquina deben justificar cada demora que tenga la máquina superior a los dos minutos. Esa información es tratada diariamente por el departamento de Ingeniería Industrial, quienes desglosan las demoras por categorías y sub-categorías, con el fin de visualizar aquellos rubros de mayor impacto en la productividad del área.

El resultado de los tiempos no operativos por día durante el año 2020, para las máquinas KB, se muestra en la

Tabla 16.

Tabla 16 Tiempos no operativos 2020 en máquinas KB

Tiempo no operativo	Horas/día
Falta de materiales	4,11
Material defectuoso	20,12
Cambio de medida	5,80
Ajustes después del cambio	2,23
Ajustes de máquina	3,54
Fallas mecánicas	11,24
Fallas eléctricas	8,78
Fallas SET UP	2,46
Cambios de materiales	4,14
Chequeo Inicio Turno	5,33
Mante. Preventivo	4,86
Falta Programa	3,70
Misceláneos	3,28

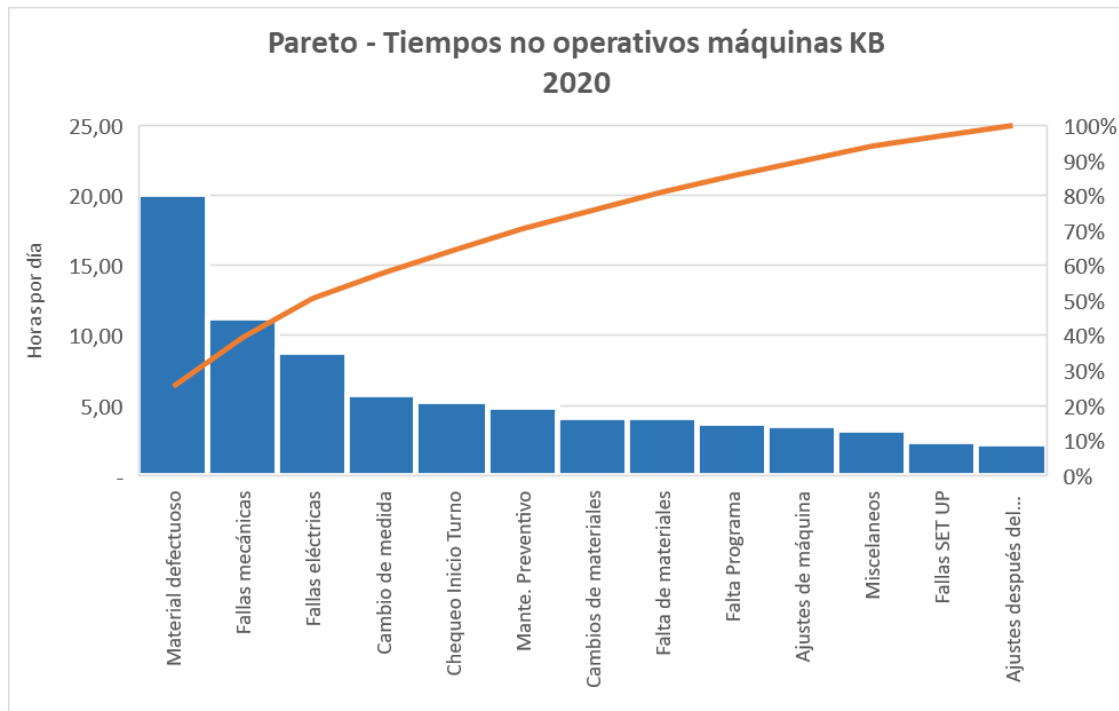
Nota: Bridgestone.

Tal y como se puede observar en la

Tabla 16, el principal tiempo no operativo es por material defectuoso, que ocasiona que se deba detener la máquina para revisar el material, retirarlo de la máquina y dar aviso al ingeniero de procesos, quien, de acuerdo a su evaluación, determinará si es necesario retrabar o devolver el material al departamento proveedor. Este rubro comprende un 25,3% del total de tiempo no operativo.

Los principales tiempos no operativos mencionados se muestran visualmente en la Figura 30.

Figura 30 Pareto – Tiempos no operativos máquinas KB



Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con la Figura 30, los y tres tiempos no operativos principales abarcan más del 50% del total de paradas de máquina, y son:

1. Material defectuoso.
2. Fallas mecánicas.
3. Fallas eléctricas.

Cada una de estas categorías de tiempos no operativos se desglosan en sub categorías.

1. Material defectuoso: capa, tela, spiral layer, sellante, aros, filler, rodado y paredes.
2. Fallas mecánicas y eléctricas:
 - a. En los sistemas de los diferentes materiales como: capa, sellante, paredes, telas, rodados, spiral, filler.

- b. Así como en las partes de la máquina como tambores de máquina, talonera, brazo cargador, luces guías, otros.

Tiempo no operativo por material defectuoso.

El resultado de los tiempos no operativos por día por materiales defectuosos durante el año 2020, para las máquinas KB, se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17 Tiempos no operativos por materiales defectuosos 2020 en máquinas KB

Tiempo no operativo	Horas/día
Capa defectuosa	13,18
Tela defectuosa	1,05
Spiral layer defectuoso	1,20
Sellante defectuoso	1,65
Aro defectuoso	0,34
Filler defectuoso	0,62
Rodado defectuoso	0,68
Paredes defectuosas	1,41

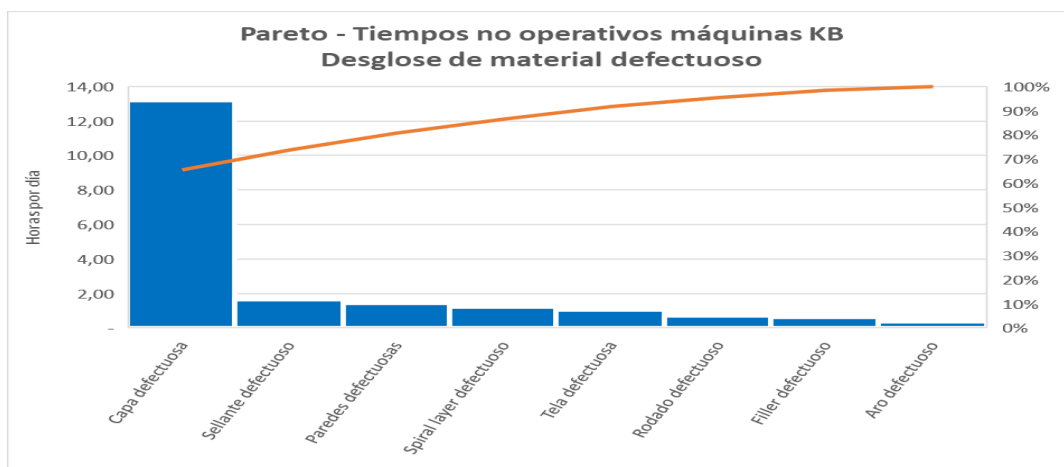
Nota: Bridgestone.

Tal y como se puede ver en la Tabla 17, las paradas de máquina por problemas con el material capa son las mayores, abarcando un 65,5% del total de demoras por materiales defectuosos.

Los principales tiempos no operativos por materiales defectuosos mencionados se muestran visualmente en la

Figura 31.

Figura 31 Pareto – Tiempos no operativos por materiales defectuosos máquinas KB



Nota: David Barrios Delgado.

A su vez, los principales defectos que causan paradas de máquinas por capa defectuosa se detallan en la Tabla 18.

Tabla 18 Tiempos no operativos por capa defectuosa en máquinas KB

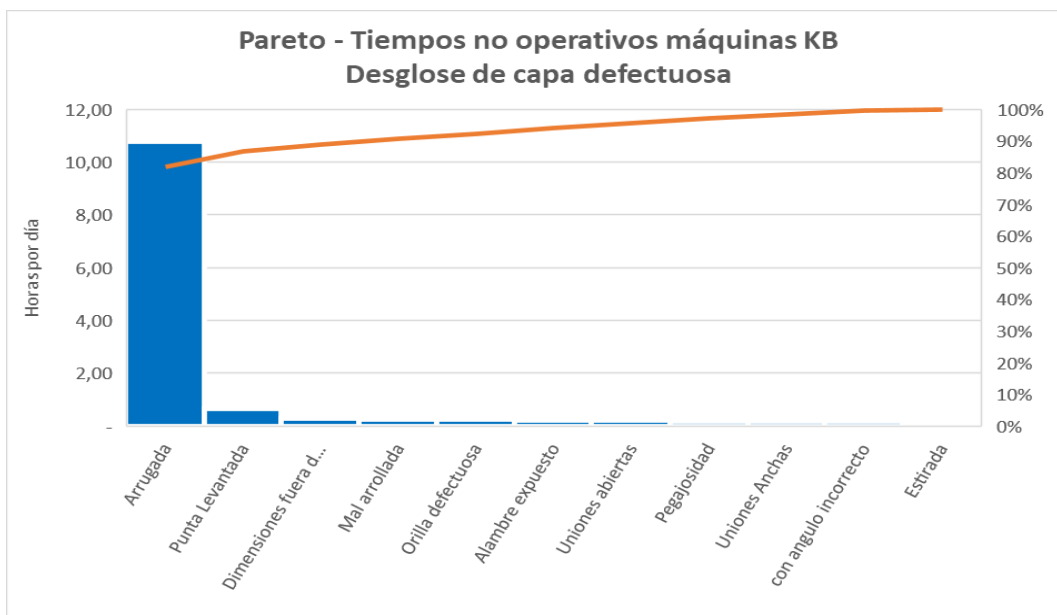
Tiempo no operativo	Horas/día
Uniones abiertas	0,21
Punta Levantada	0,63
Arrugada	10,79
Alambre expuesto	0,22
Estirada	0,05
Orilla defectuosa	0,23
Pegajosidad	0,18
Dimensiones fuera de spec	0,27
Uniones Anchas	0,17
con angulo incorrecto	0,17
Mal arrollada	0,24

Nota: Bridgestone.

Tal y como se puede observar en la Tabla 18 y visualizar en la

Figura 32, el principal defecto del material defectuoso capa es arrugas, con un 82,50% del total del tiempo por capa defectuosa.

Figura 32 Pareto – Tiempos no operativos por materiales defectuosos en máquinas KB



Nota: David Barrios Delgado.

El detalle por máquina de las demoras por capa arrugada se muestra en la Tabla 19.

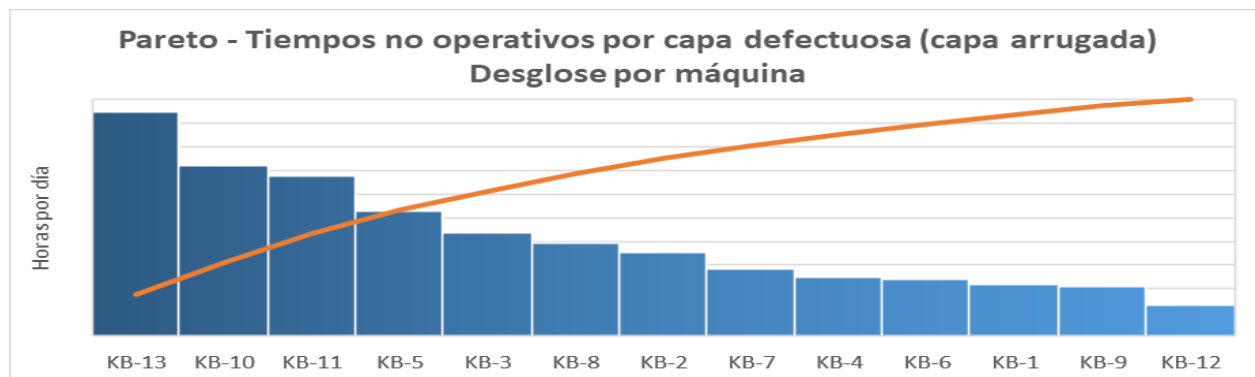
Tabla 19 Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por capa defectuosa (arrugas)

Máquina	Defecto de capa (horas por día)
KB-1	0,43
KB-2	0,71
KB-3	0,88
KB-4	0,50
KB-5	1,06
KB-6	0,48
KB-7	0,57
KB-8	0,79
KB-9	0,42
KB-10	1,44
KB-11	1,36
KB-12	0,27
KB-13	1,90

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede observar en la Tabla 19 y visualizar en la Figura 33, la máquina con más demoras por capa defectuosa (arrugas) es la KB-13.

Figura 33 Pareto - Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por capa defectuosa (arrugas)



Nota: David Barrios Delgado.

Tiempo no operativo por fallas mecánicas.

El resultado de los tiempos no operativos por día por fallas mecánicas durante el año 2020, para las máquinas KB, se muestra en la Tabla 20.

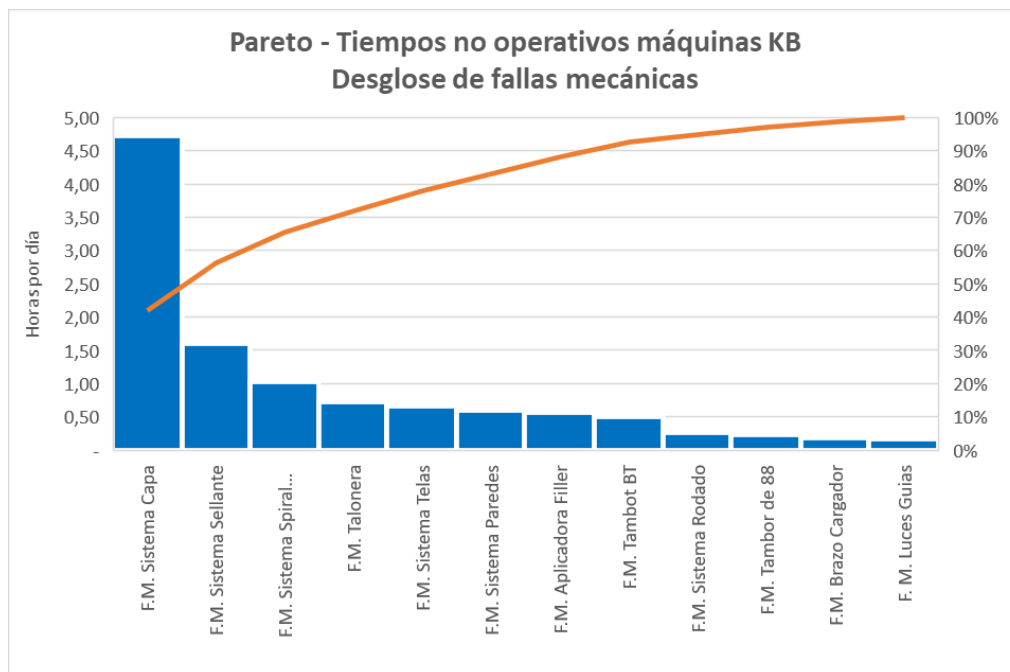
Tabla 20 Tiempos no operativos por fallas mecánicas en máquinas KB

Tiempo no operativo	Horas/día
F.M. Sistema Paredes	0,60
F.M. Sistema Telas	0,67
F.M. Tambot BT	0,50
F.M. Talonera	0,73
F.M. Sistema Spiral Layer	1,03
F.M. Sistema Capa	4,72
F.M. Aplicadora Filler	0,57
F.M. Brazo Cargador	0,18
F.M. Sistema Rodado	0,27
F. M. Luces Guías	0,16
F.M. Tambor de 88	0,23
F.M. Sistema Sellante	1,60

Nota: Bridgestone.

Tal y como se puede observar en la Tabla 20 y visualizar en la Figura 34, la principal falla mecánica es falla en el sistema de capa, con un 42,00% del total del tiempo por fallas mecánicas.

Figura 34 Pareto – Tiempos no operativos por fallas mecánicas en máquinas KB



Nota: David Barrios Delgado.

El detalle por máquina de las demoras por fallas mecánicas en el sistema de capa se muestra en la Tabla 21.

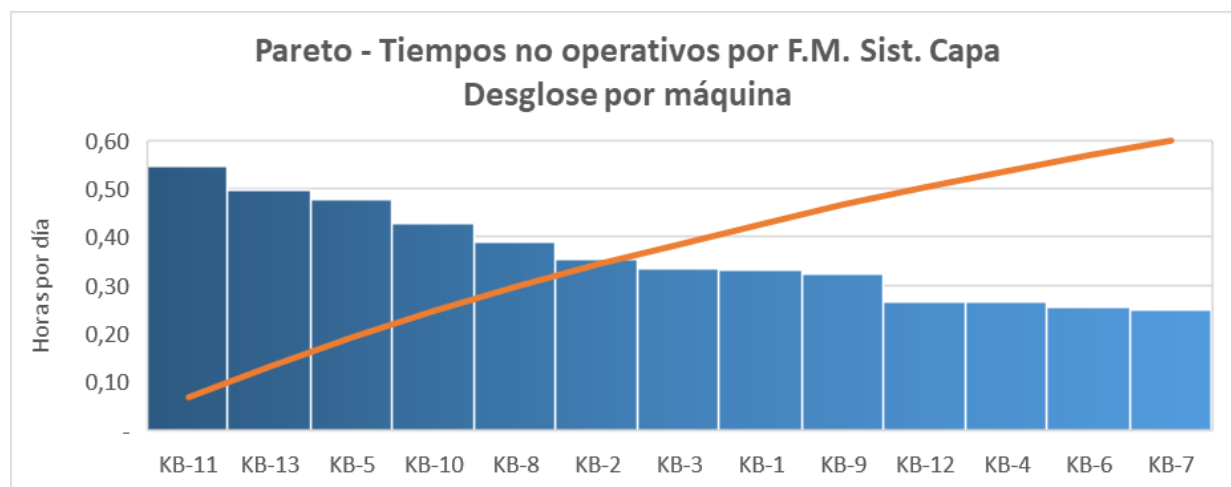
Tabla 21 Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por F.M. Sist. Capa

Máquina	F.M. Sist. Capa (horas por día)
KB-1	0,33
KB-2	0,35
KB-3	0,34
KB-4	0,26
KB-5	0,48
KB-6	0,26
KB-7	0,25
KB-8	0,39
KB-9	0,32
KB-10	0,43
KB-11	0,55
KB-12	0,27
KB-13	0,50

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede observar en la Tabla 21 y visualizar en la Figura 35, la máquina con más demoras por F.M. Sist. Capa es la KB-11.

Figura 35 Pareto - Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por F.M. Sist. Capa



Nota: David Barrios Delgado.

Tiempo no operativo por fallas eléctricas.

El resultado de los tiempos no operativos por día por fallas eléctricas durante el año 2020, para las máquinas KB, se muestra en la Tabla 22.

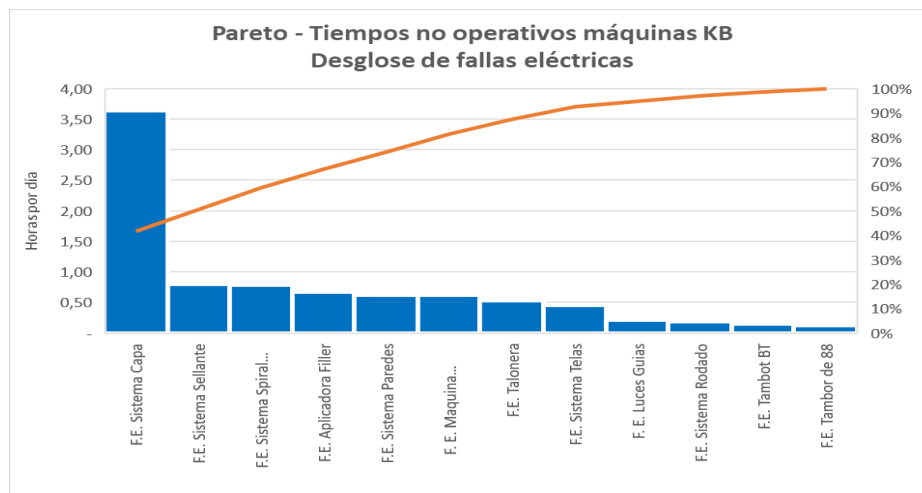
Tabla 22 Tiempos no operativos por fallas eléctricas en máquinas KB

Tiempo no operativo	Horas/día
F.E. Sistema Telas	0,45
F.E. Sistema Paredes	0,62
F.E. Sistema Sellante	0,79
F.E. Talonera	0,53
F.E. Aplicadora Filler	0,67
F. E. Maquina Disparada	0,62
F.E. Sistema Rodado	0,18
F.E. Sistema Spiral Layer	0,79
F.E. Tambot BT	0,14
F.E. Sistema Capa	3,64
F.E. Tambor de 88	0,13
F. E. Luces Guías	0,21

Nota: Bridgestone-

Tal y como se puede observar en la Tabla 22 y visualizar en la Figura 36 , la principal falla eléctrica es falla en el sistema de capa, con un 41,46% del total del tiempo por fallas eléctricas.

Figura 36 Pareto – Tiempos no operativos por fallas eléctricas en máquinas KB



Nota: David Barrios Delgado.

El detalle por máquina de las demoras por fallas eléctricas en el sistema de capa se muestra en la Tabla 23.

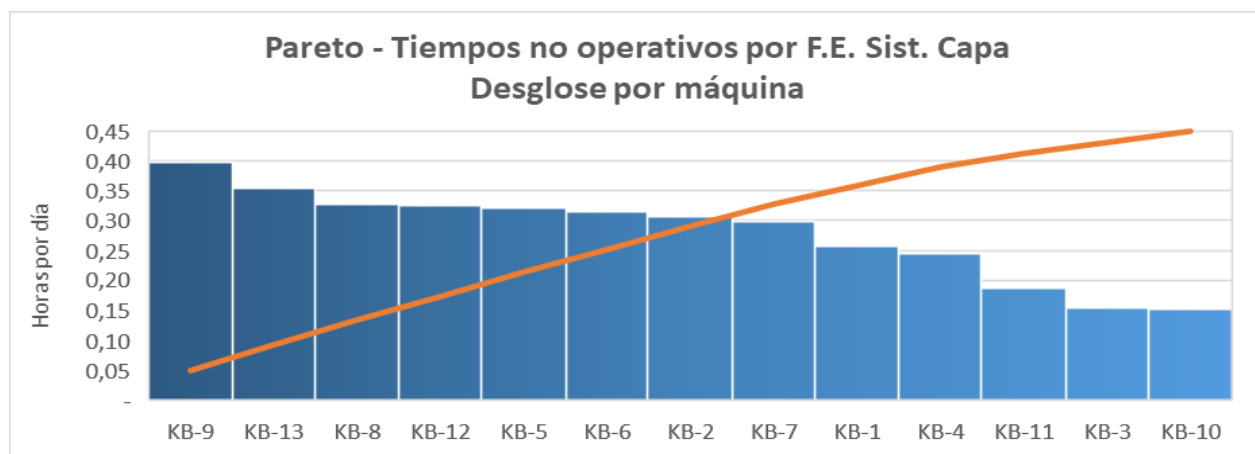
Tabla 23 Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por F.E. Sist. Capa

Máquina	F.E. Sist. Capa (horas por día)
KB-1	0,26
KB-2	0,31
KB-3	0,15
KB-4	0,24
KB-5	0,32
KB-6	0,32
KB-7	0,30
KB-8	0,33
KB-9	0,40
KB-10	0,15
KB-11	0,19
KB-12	0,32
KB-13	0,35

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede observar en la Tabla 23 y visualizar en la Figura 37, la máquina con más demoras por F.E. Sist. Capa es la KB-9.

Figura 37 Pareto - Desglose por máquina KB de tiempos no operativos por F.E. Sist. Capa



Nota: David Barrios Delgado.

Los tres principales rubros de demoras (capa arrugada, F.M. Sist Capa y F.E. Sist. Capa) generan paradas de máquina cada día. El detalle sumado de las horas de demora que causan los tres principales rubros mencionados en cada máquina se muestra en la Tabla 24.

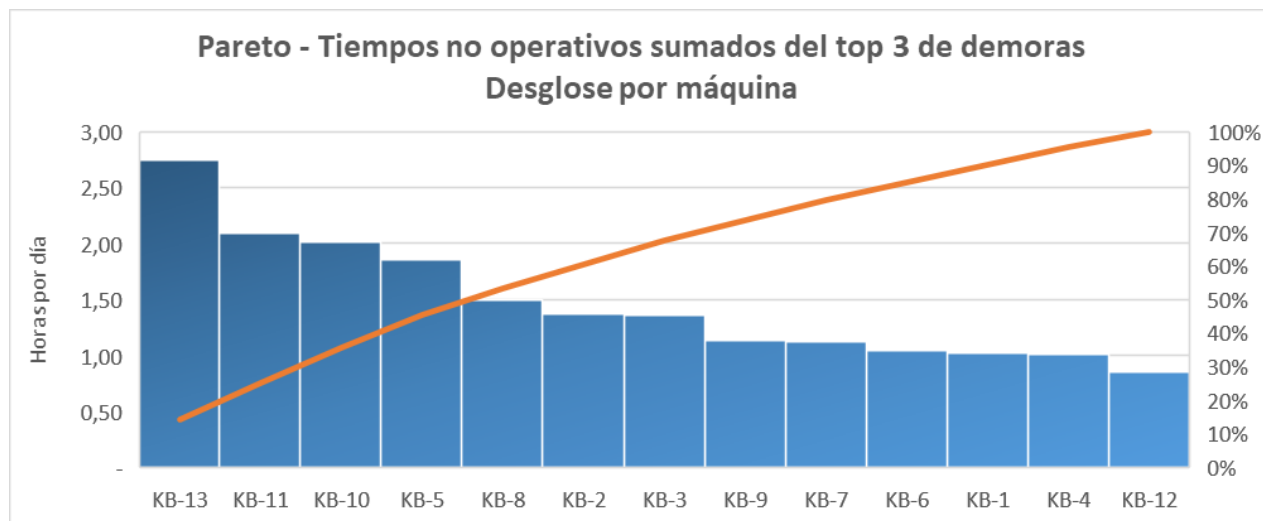
Tabla 24 Desglose sumado por máquina KB de tiempos no operativos del top 3 principal

Máquina	Demoras - Top 3 (horas por día)
KB-1	1,02
KB-2	1,37
KB-3	1,37
KB-4	1,01
KB-5	1,85
KB-6	1,05
KB-7	1,12
KB-8	1,50
KB-9	1,14
KB-10	2,02
KB-11	2,09
KB-12	0,86
KB-13	2,75

Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los datos de la Tabla 24, la máquina KB-13 abarca la mayor cantidad de demoras, con un 14,34% del total de tiempo del top 3 de demoras.

Figura 38 Pareto - Desglose por máquina KB de tiempos no operativos del top 3 de demoras



Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con el análisis de la problemática que se resumen en la

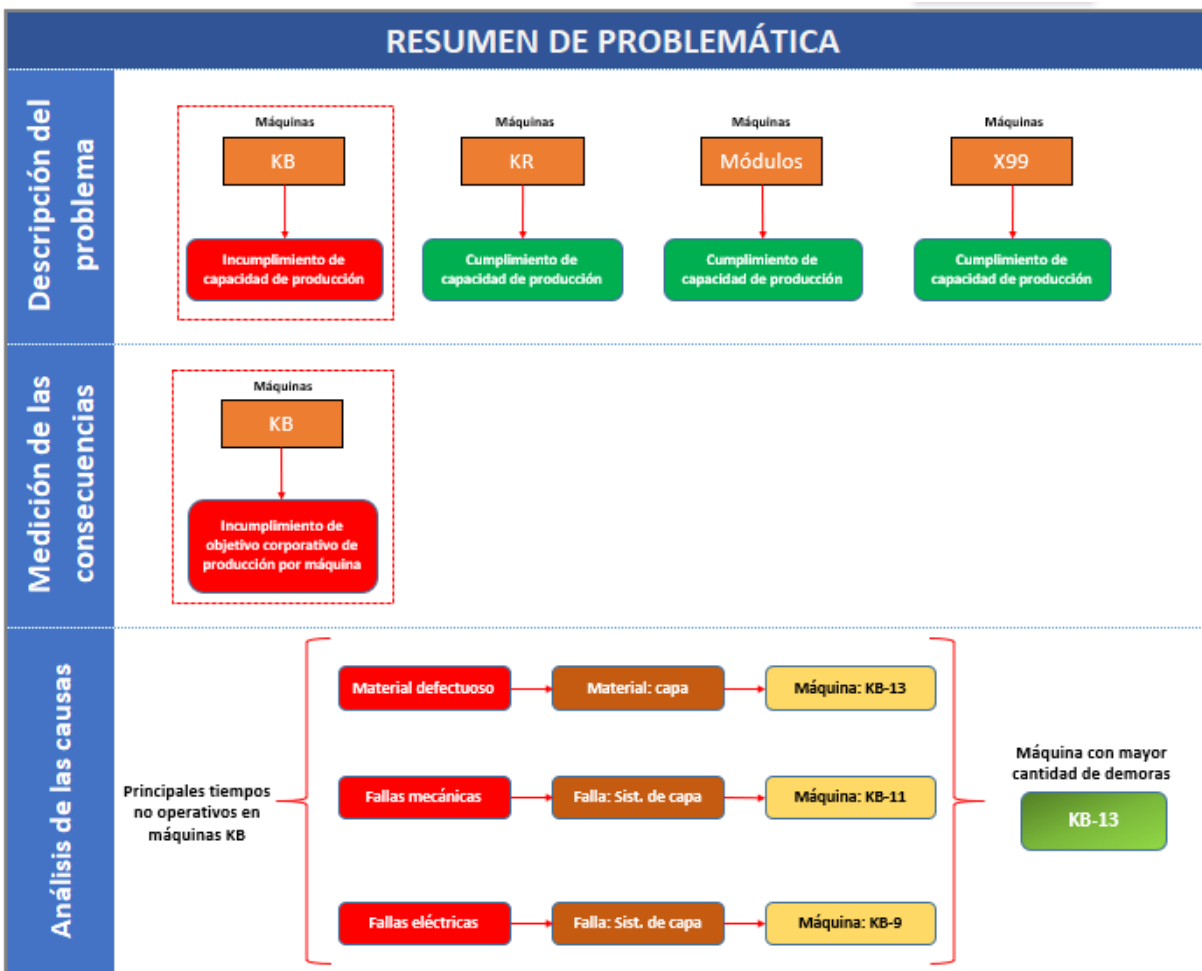
Figura 39, el grupo de máquinas KB no cumple con la producción requerida, el cual aparte de ser necesario por necesidades de producción, es requerido por ser un objetivo a nivel corporativo.

Dentro de las principales demoras que afectan a este grupo de máquinas destacan tres rubros principales que abarcan un 50,44% del total de demoras, y son:

1. Material defectuoso.
2. Fallas mecánicas.
3. Fallas eléctricas.

La máquina que más demoras tiene de estos rubros es la KB-13, con 2,75 horas diarias de demora, equivalentes a un 14,34% del total de demoras del top 3 principal.

Figura 39 Resumen de problemática



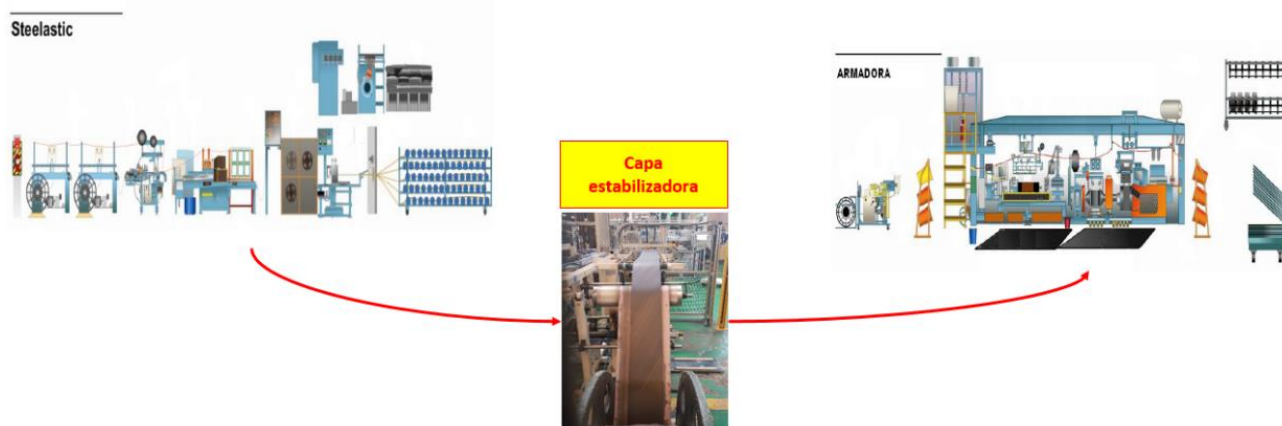
Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los tiempos no operativos mencionados y resumidos en la

Figura 39, los principales problemas se centran en el material capa estabilizadora, tanto por lo defectuoso del material, como por las fallas mecánicas y eléctricas que presentan las máquinas KB en sus sistemas.

El material capa estabilizadora se produce en el departamento de Steelastic y es enviada al Departamento de Armado para su uso, al igual como se puede ver en el flujo de la Figura 40.

Figura 40 Flujo del material capa estabilizadora



Nota: Bridgestone.

De acuerdo con la

Figura 38, la máquina con mayores tiempos no operativos del top 3 de demoras (capa defectuosa, fallas mecánicas en el sistema de capa y fallas eléctricas en el sistema de capa) es la KB-13. En esta máquina se realizará el análisis de causas de los tiempos no operativos de las fallas mecánicas y eléctricas en el sistema de capa, mientras que el análisis de causas del material capa estabilizadora defectuosa se realizará en el departamento proveedor Steelastic.

En el Departamento de Steelastic operan cuatro máquinas, que proveen del material capa estabilizadora a las máquinas del Departamento de Armado. Se trabajará en la máquina #4 (ST-4), ya que es la máquina proveedora de capa estabilizadora para la máquina del Departamento de Armado KB-13. Por lo tanto, la estrategia de identificación de causas abarcará los departamentos de Steelastic y Armado, y ambos enfocados en máquinas modelo, con el fin de posteriormente aplicarlo a la totalidad de máquinas de ambos departamentos. La estrategia para el análisis de causas se realizará con las herramientas indicadas en la Tabla 25.

Tabla 25 Estrategia para el análisis de sub-causas del problema

Tiempo no operativo		Dónde		Estrategia
Capa defectuosa (arrugas)	→	ST-4	→	IPO MAP - CAUSA y EFECTO - FMEA
F.M. Sistema Capa	→	KB-13	→	IPO MAP - CAUSA y EFECTO - FMEA
F.E. Sistema Capa	→	KB-13	→	IPO MAP - CAUSA y EFECTO - FMEA

Nota: David Barrios Delgado.

Análisis de sub-causas del problema

De acuerdo con la estrategia de análisis de sub-causas del problema indicado en la Tabla 25, se realizará un IPO Map, análisis de causa y efecto, y un FMEA enfocados tanto en el análisis del material defectuoso proveniente del Departamento de Steelastic (capa arrugada), como en el análisis de fallas mecánicas y eléctricas en el sistema de capa de la máquina KB-13.

Capa arrugada (Depto. Steelastic).

IPO Map

De acuerdo con el IPO Map mostrado en la

Tabla 26, los procesos durante la producción de la capa estabilizadora son el servidor de alambre, extrusión, enfriamiento, corte y enrollado de la capa. Para estos procesos, en la misma tabla, se detallan sus entradas y salidas, obteniendo como resultado 29 variables a analizar.

Tabla 26 IPO MAP proceso de producción de capa estabilizadora

ENTRADAS	TIPO	PROCESO	SALIDA
Tensión del alambre	C	Servidor de alambre	Alambre tenso
Estado de los pines	C		
Tipo de enhebrado	C		
Viscosidad del hule	C	Extrusión	Cinta de material extruido
Temperatura del hule	C		
Corte del hule	C		
Entarimado del hule	C		
Alambre tenso	C		
Temperatura TCU1	C		
Temperatura TCU2	C		
Temperatura TCU3	C		
Temperatura TCU4	C		
Reposo del hule	C		
Presión de cabeza	C		
Estado del tornillo y la camisa	C		
Presencia de materia extraña	U		
Cinta de material extruido	C	Enfriamiento	

ENTRADAS	TIPO	PROCESO	SALIDA
Agua de enfriamiento	C		Cinta de material frío
Cinta de material frío	C		
Estado de las cuchillas	C	Corte de la capa estabilizadora	Capa estabilizadora
Presión de vacío	C		
Estado mecánico del sistema de corte	C		
Estado guías metálicas	C		
Tensión en transporte	C	Enrollado	Capa estabilizadora enrollada
Freno del transporte	C		
Tipo de transporte	U		
Velocidad de enrollado	C		
Posición de material durante enrollado	U		
Freno de enrolladores	C		

Nota: David Barrios Delgado.

Causa y efecto

Con el fin de identificar las posibles causas del problema de capa estabilizadora con arrugas, se realizó el análisis de causa y efecto, tomando como base las variables identificadas en el IPO Map detallado en la

Tabla 26 y, tomando como requerimientos del cliente (Departamento de Armado) las variables de arrugas y pegajosidad de la capa estabilizadora. Lo anterior con el fin de determinar aquellas variables de entradas de proceso claves (KPIV). De acuerdo con el análisis de causa y efecto indicado en la Tabla 27, se determinaron 3 KPIV's.

Tabla 27 Análisis causa y efecto del proceso de producción de capa estabilizadora

Importancia relativa	9	6	TOTAL
Requerimientos del cliente	Arrugas	Pegajosidad	

Item	Proceso	Proceso-Entrada	Influencia (1-3-9)		Peso	Status
1	Enrollado	Tensión en transporte	9	1	87	Crítico
2	Enrollado	Freno del transporte	9	1	87	Crítico
3	Enrollado	Tipo de transporte	9	1	87	Crítico
4	Extrusión	Viscosidad del hule	1	9	63	Potencial
5	Extrusión	Temperatura del hule	1	9	63	Potencial
6	Extrusión	Corte del hule	1	9	63	Potencial
7	Extrusión	Entarimado del hule	3	3	45	Potencial
8	Creel room	Tensión del alambre	3	1	33	Eliminada
9	Creel room	Tipo de enhebrado	3	1	33	Eliminada
10	Extrusión	Temperatura TCU1	1	3	27	Eliminada
11	Extrusión	Temperatura TCU2	1	3	27	Eliminada
12	Extrusión	Temperatura TCU3	1	3	27	Eliminada
13	Extrusión	Temperatura TCU4	1	3	27	Eliminada
14	Creel room	Estado de los pines	1	1	15	Eliminada
15	Extrusión	Alambre tenso	1	1	15	Eliminada
16	Extrusión	Reposo del hule	1	1	15	Eliminada
17	Extrusión	Presión de cabeza	1	1	15	Eliminada
18	Extrusión	Estado del tornillo y la camisa	1	1	15	Eliminada
19	Extrusión	Presencia de materia extraña	1	1	15	Eliminada
20	Enfriamiento	Cinta de material extruído	1	1	15	Eliminada
21	Enfriamiento	Agua de enfriamiento	1	1	15	Eliminada
22	Corte de la capa	Cinta de material frío	1	1	15	Eliminada
23	Corte de la capa	Estado de las cuchillas	1	1	15	Eliminada
24	Corte de la capa	Presión de vacío	1	1	15	Eliminada
25	Corte de la capa	Estado mecánico del sistema de corte	1	1	15	Eliminada
26	Corte de la capa	Estado guías metálicas	1	1	15	Eliminada
27	Enrollado	Velocidad de enrollado	1	1	15	Eliminada
28	Enrollado	Posición de material durante enrollado	1	1	15	Eliminada
29	Enrollado	Freno de enrolladores	1	1	15	Eliminada

Nota: David Barrios Delgado.

FMEA

Con el fin de identificar, delimitar y describir modos de falla generados por el proceso y sus efectos y causas, se realiza el análisis de modos de fallas y efectos (FMEA) en el proceso de producción de capa estabilizadora en el departamento de Steelastic. De acuerdo con el FMEA mostrado en la

Tabla 28, se priorizaron, en términos de severidad, frecuencia y modo de detección; los 3 KPIV's críticos identificados en el análisis de causa y efecto mostrado en la Tabla 27.

La priorización de los KPIV's da como resultado:

1. Tensión en el linner.
2. Freno del transporte.
3. Tipo de linner.

Tabla 28 FMEA Proceso de producción de capa estabilizadora

Proceso	Proceso-Entrada	Modo Potencial de Falla	Efecto Potencial de Falla	S E V	Causas Potenciales	O C C	Controles Actuales	D E T	RPN
Cuál es el paso del proceso?	Cuál es la entrada clave del proceso?	De qué manera falla la entrada clave del proceso?	¿Cuál es el impacto en las variables de salida clave (requisitos del cliente) o los requisitos internos?	¿Cuán severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que la entrada clave salga mal?	¿Con qué frecuencia ocurre la causa o Falla?	¿Cuáles son los controles y procedimientos existentes (inspección y prueba) que previenen la causa o el modo de falla?	¿Qué tan bien puedes detectar una causa o FM?	
Enrollado	Tensión en linner	Tensión no está en el parámetro necesario para que el material no sufra sobre tensión	Arrugas, capa estirada	9	Sistema de control no es dinámico. No se tiene el seteo adecuado	9	No existe	6	486
Enrollado	Freno del transporte	Freno no es el adecuado para que el material no sufra sobre tensión	Arrugas, capa estirada	9	Sistema de seteo fijo. Valores se definieron hace mucho tiempo	7	Valores fijos según ayuda visual	6	378
Enrollado	Tipo de linner	El material del linner provoca un enrollado incorrecto de la capa estabilizadora	Arrugas, capa estirada	6	Existen varios tipos de linner debido a diversos factores	6	No hay control definido	9	324

Nota: David Barrios Delgado.

Fallas mecánicas y eléctricas (Departamento de Armado).

IPO Map

De acuerdo con el IPO Map mostrado en la Tabla 29, los procesos durante la aplicación de la capa estabilizadora son el enhebrado del alambre, enrollado de la capa y el corte de la capa estabilizadora. Para estos procesos, en la misma tabla, se detallan sus entradas y salidas, obteniendo como resultado 29 variables a analizar.

Tabla 29 IPO MAP proceso de aplicación de capa estabilizadora en la llanta

ENTRADAS	TIPO	PROCESO	SALIDA
Centrado de la carrucha vrs servidor	C	Enhebrado de alambre	
Presión del enhebrado (Freno)	C		

ENTRADAS	TIPO	PROCESO	SALIDA
Guías centradoras de la parte de atrás	C		Capa estabilizadora en llanta
Filo de cuchillas	C	Enrollado de capa estabilizadora	Capa estabilizadora en llanta
Ajuste de sistema des-enrollado freno	C		
Condición de la platina de corte (Base)	C		
Condición de la cuchilla de corte de capa	C		
Juego en la cuchilla de capa estabilizadora	C	Corte de capa estabilizadora	Capa estabilizadora en llanta
Ángulo de cuchillas	C		
Sincronización de velocidad de los roller moller de capas	C		
Presión de corte de la cuchilla de capa	C		
Ángulo de corte de la cuchilla (Seteo)	C		
Ciclo de ingreso de la capa después del corte	C		
Bandas transportadoras al nivel de la base	C		
Giro de los rodillos	C		
Tiempo de envío de capa	C		
Rodillos faltantes	C		
Posición de la presa de la capa estabilizadora	C	Traslado de la capa estabilizadora	Capa estabilizadora en llanta
Velocidad del enhebrado	C		
Condición de rodillos de los servidores de capa	C		
Altura de la prensa de capa	C		
Seteo de cierre de las guías pantográficas	C		
Apertura y cierre de las guías pantográficas	C		
Alineamiento de las guías pantográficas	C		
Lazo pega al suelo y se hacen pelotas	C		

Nota: David Barrios Delgado.

Causa y Efecto

Con el fin de identificar las posibles causas del problema de capa estabilizadora con arrugas, se realizó el análisis de causa y efecto, tomando como base las variables identificadas en el IPO Map detallado en la Tabla 29 y, tomando como requerimientos del cliente (depto. Armado) las variables de tiempos no operativos y desecho (waste) de capa estabilizadora. Lo anterior con el fin de

determinar aquellas variables de entradas de proceso claves (KPIV). De acuerdo con el análisis de causa y efecto indicado en la Tabla 30, se determinaron 4 KPIV's.

Tabla 30 Análisis causa y efecto del proceso de aplicación de capa en la llanta

Importancia relativa		6	9	TOTAL		
Requerimientos del cliente		Desechos	Demoras			
Item	Proceso	Proceso-Entrada	Influencia (1-3-9)		Peso	Status
1	Traslado de la capa estabilizadora	Giro de los rodillos	9	9	135	Crítico
2	Corte de Capa estabilizadora	Condición de la cuchilla de corte de capa	9	9	135	Crítico
3	Corte de Capa estabilizadora	Condición de la platina de corte (Base)	3	9	99	Potencial
4	Traslado de la capa estabilizadora	Ciclo de ingreso de la capa después del corte	3	9	99	Potencial
5	Traslado de la capa estabilizadora	Bandas transportadoras al nivel de la base	3	9	99	Potencial
6	Enhebrado de Alambre	Centrado de la carrucha vrs servidor	9	3	81	Potencial
7	Enhebrado de Alambre	Presión del enhebrado (Freno)	9	3	81	Potencial
8	Corte de Capa estabilizadora	Juego en la cuchilla de capa estabilizadora	9	3	81	Potencial
9	Enhebrado de Alambre	Guías centradoras de la parte de atrás	3	3	45	Eliminada
10	Traslado de la capa estabilizadora	Tiempo de envío de capa (Tiempo en detenerse)	3	3	45	Eliminada
11	Traslado de la capa estabilizadora	Rodillos faltantes	3	3	45	Eliminada
12	Enrollado de capa estabilizadora	Cuchilla no corta la capa	3	3	45	Eliminada
13	Traslado de la capa estabilizadora	Condición de rodillos de los servidores de capa	3	3	45	Eliminada
14	Traslado de la capa estabilizadora	Altura de la prensa de capa	3	3	45	Eliminada
15	Corte de Capa estabilizadora	Presión de corte de la cuchilla de capa	3	3	45	Eliminada
16	Corte de Capa estabilizadora	Angulo de corte de la cuchilla (Seteo)	3	3	45	Eliminada
17	Enrollado de capa estabilizadora	Ajuste de sistema desenrollado Freno	3	3	45	Eliminada
18	Traslado de la capa estabilizadora	Seteo de cierre de las guías pantográficas	1	3	33	Eliminada
19	Traslado de la capa estabilizadora	Apertura y cierre de las guías pantográficas	1	3	33	Eliminada

Item	Proceso	Proceso-Entrada	Influencia (1-3-9)		Peso	Status
20	Traslado de la capa estabilizadora	Posición de la presa de la capa estabilizadora	1	3	33	Eliminada
21	Traslado de la capa estabilizadora	Velocidad del enhebrado	1	3	33	Eliminada
22	Corte de Capa estabilizadora	Cuchilla pierde el ángulo	1	3	33	Eliminada
23	Corte de Capa estabilizadora	Sincronización de velocidad de los roller moller	1	3	33	Eliminada
24	Traslado de la capa estabilizadora	Alineamiento de las guías pantográficas	1	3	33	Eliminada
25	Traslado de la capa estabilizadora	Lazo pega al suelo y se hacen pelotas	1	3	33	Eliminada

Nota: David Barrios Delgado.

FMEA

Con el fin de identificar, delimitar y describir modos de falla generados por el proceso y sus efectos y causas, se realiza el análisis de modos de fallas y efectos (FMEA) en el proceso de producción de aplicación de capa en la llanta, en el Departamento de Armado. De acuerdo con el FMEA mostrado en la Tabla 31, se priorizaron, en términos de severidad, frecuencia y modo de detección; los 2 KPIV's críticos identificados en el análisis de causa y efecto mostrado en la Tabla 27 Tabla 30.

La priorización de los KPIV's da como resultado:

1. Giro y condición de los rodillos.
2. Condición de la cuchilla de corte de capa.

Tabla 31 FMEA Proceso de aplicación de capa en la llanta

Proceso	Proceso-Entrada	Modo Potencial de Falla	Efecto Potencial de Falla	S e v e r i d a d	C a u s a s P o t e n c i a l e s	O c u r r e n c i a	C o n t r o l e s A c t u a l e s	D e t e c t a b i l i d a d	RPN
Cuál es el paso del proceso?	Cuál es la entrada clave del proceso?	De qué manera falla la entrada clave del proceso?	¿Cuál es el impacto en las variables de salida clave (requisitos del cliente) o los requisitos internos?	¿Cuán severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que la entrada clave salga mal?	¿Con qué frecuencia ocurre la causa o Falla?	¿Cuáles son los controles y procedimientos existentes (inspección y prueba) que previenen la causa o el modo de falla?	¿Qué tan bien puedes detectar una causa o FMP?	
Traslado de la capa estabilizadora	Giro de los rodillos y condición de los rodillos	Capa se arruga al frenarse en los rodillos	Tiempos no operativos, waste, scrap	9	Rodillos trabados o peso o tipo de rodillo	9	No hay. Se cambian cuando operadores reportan rodillos dañados	6	486
Corte de Capa estabilizadora	Condición de la cuchilla de corte de capa	Arruga al no cortar eficientemente la capa	Tiempos no operativos, waste, scrap	6	Mucha presión, poca dureza	9	No hay estandar de presión y alineamiento de corte de la capa	6	324

Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los FMEA desarrollados en los departamentos de Steelastic y Armado, mostrados en la Tabla 28 y Tabla 31, los KPIV's críticos son los resumidos en la Tabla 32, sobre los cuales deben centrarse las mejoras por desarrollar.

Tabla 32 KPIV's críticos

#	Depto.	KPIV's críticos
1		Tensión en linner
2	Depto. Steelastic	Freno del transporte
3		Tipo de linner
4	Depto. Armado	Giro y condición de los rodillos
5		Condición de la cuchilla de corte de capa

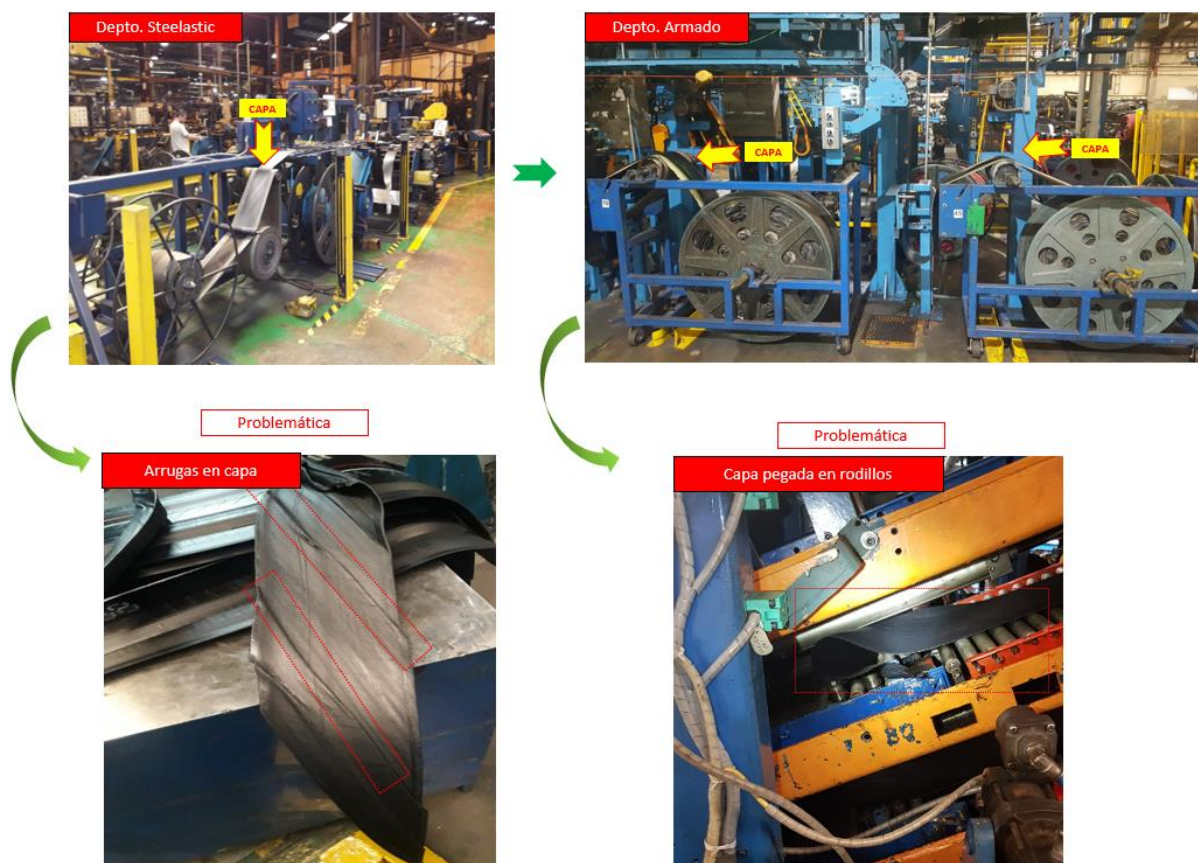
Nota: David Barrios Delgado.

La problemática de las arrugas en el material capa estabilizadora afecta al Departamento de Armado al sumarle tiempos no operativos por problemas asociado a ese defecto durante el proceso de armado de la llanta. La

Figura 41 ejemplifica la problemática actual.

En el proceso de producción de capa estabilizadora, en el departamento de Steelastic, se generan arrugas en el material, las cuales posteriormente, cuando las carruchas son enviadas a las máquinas del Departamento de Armado, impactan con paradas de máquina asociadas a la solución de cada evento de capa arrugada.

Figura 41 Problemática asociada a las arrugas en la capa estabilizadora



Nota: David Barrios Delgado.

Comprobación estadística de KPIV's

Con el fin de darle solución a los problemas correctos, se confirman estadísticamente los KPIV's críticos determinados y resumidos en la Tabla 33.

Tabla 33 Comprobación estadística de KPIV's

#	Depto.	KPIV's críticos	A confirmar con
1		Tensión en linner	Prueba t-student 2 muestras
2	Depto. Steelastic	Freno del transporte	Prueba t-student 2 muestras
3		Tipo de linner	Prueba t-student 2 muestras
4		Giro y condición de los rodillos	Prueba de 1 proporción
5	Depto. Armado	Condición de la cuchilla de corte de capa	Prueba t-student 2 muestras

Nota: David Barrios Delgado.

KPIV#1 Tensión en linner.

El linner es el material sobre el cual se enrolla el material capa estabilizadora, que a su vez es arrollado en una carrucha, tal y como se puede ver en la Figura 42.

Posterior a eso las carruchas son transportadas a las máquinas del Departamento de Armado.

Figura 42 Carrucha de capa estabilizadora



Nota: David Barrios Delgado.

El liner ejerce tensión sobre la capa estabilizadora, y es un valor sensible por su efecto en las arrugas de capa estabilizadora. Si se genera poca tensión generará arrugas, de igual forma que si existe sobre tensión, según el análisis de FMEA detallado en la Tabla 28.

Las cuatro máquinas del Departamento de Steelastic producen varios tipos de capa estabilizadora, según el tipo de alambre que estos produzcan. De acuerdo con la matriz mostrada en la Tabla 34, donde el color verde indica que está habilitada para producir, y el rojo inhabilitado para producir; la ST-4 (máquina steelastic seleccionada según estrategia de la Tabla 25) produce capa estabilizadora con el tipo de alambre SU-X, el cual es el tipo de capa estabilizadora que requieren las llantas de la máquina del Departamento de Armado KB-13.

Tabla 34 Tipos de alambre según máquina del departamento de Steelastic

Máquina/Alambre	SU-X	SF-23	ST-30	ST-22
-----------------	------	-------	-------	-------

ST-1											
ST-2											
ST-3											
ST-4											

Nota: David Barrios Delgado.

La máquina ST-4 produce por día 2.500 m de capa estabilizadora por día. Cada carrucha contiene 250 m de capa estabilizadora, lo cual resulta en una producción de 10 carruchas por turno. La ST-4 sólo labora en el turno diurno, y su producción es para abastecer el requerimiento de capa estabilizadora del siguiente día. Es decir, cada día el inventario máximo disponible es de 10 carruchas de capa estabilizadora.

La tensión se configura por parte del operador de la máquina, el cual la ajusta según conveniencia para mitigar problemas durante el enrollado de la capa estabilizadora. La máquina ST-4 opera actualmente con una tensión de 4N, sin embargo, es ajustable por parte del operador de la máquina si así lo considera.

Con el fin de evaluar la cantidad de arrugas generadas en cada carrucha de capa si se producen cambios en la tensión de enrollado, se procede a generar pruebas en el total de la población de 10 carruchas, variándoles la tensión a diez grupos diferentes de carruchas de capa estabilizadora. Lo anterior con base en el cálculo del tamaño de la muestra detallado en la Figura 5, que en este corresponde al 100% de la población de diez carruchas de capa estabilizadora.

En la Tabla 35 se detalla las tensiones durante la producción y la cantidad de arrugas generadas según la tensión estipulada en las pruebas.

Tabla 35 Muestras de carruchas de capa estabilizadora con cambios en la tensión

	Tensión actual	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
Tensión (N):	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94	104
Carrucha #1	8	6	2	2	7	2	2	3	4	1	1
Carrucha #2	2	8	3	3	3	3	3	5	3	3	3
Carrucha #3	2	4	8	3	7	4	16	2	2	4	2

	Tensión actual	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
Carrucha #4	8	2	8	6	3	14	12	3	5	3	3
Carrucha #5	3	2	6	4	3	7	4	4	5	2	0
Carrucha #6	3	8	2	3	2	3	4	3	3	6	6
Carrucha #7	4	2	4	4	4	22	3	3	2	3	1
Carrucha #8	6	4	4	4	4	4	5	3	2	2	1
Carrucha #9	12	4	7	4	2	3	4	3	4	5	4
Carrucha #10	3	5	5	5	7	5	4	4	4	5	4
Cantidad de arrugas:	51	45	49	38	42	67	57	33	34	34	25
% Reducción:	-	12%	0%	25%	18%	-31%	-12%	35%	33%	33%	51%

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede ver en la Tabla 35, la tensión que más reducciones de arrugas ocasionó es la tensión de 104N (Prueba #10), con una reducción de la cantidad de arrugas de 51%, respecto a la tensión actual de 4N.

Prueba t-student 2 muestras

Para confirmar si la reducción entre la prueba #10 y la tensión actual es estadísticamente significativa, se realiza la prueba t-student 2 muestras. Para la prueba, es necesario confirmar antes si los datos evaluados cumplen con los principios de:

- a) Normalidad de datos.
- b) Homogeneidad de varianzas.

a) Normalidad de datos

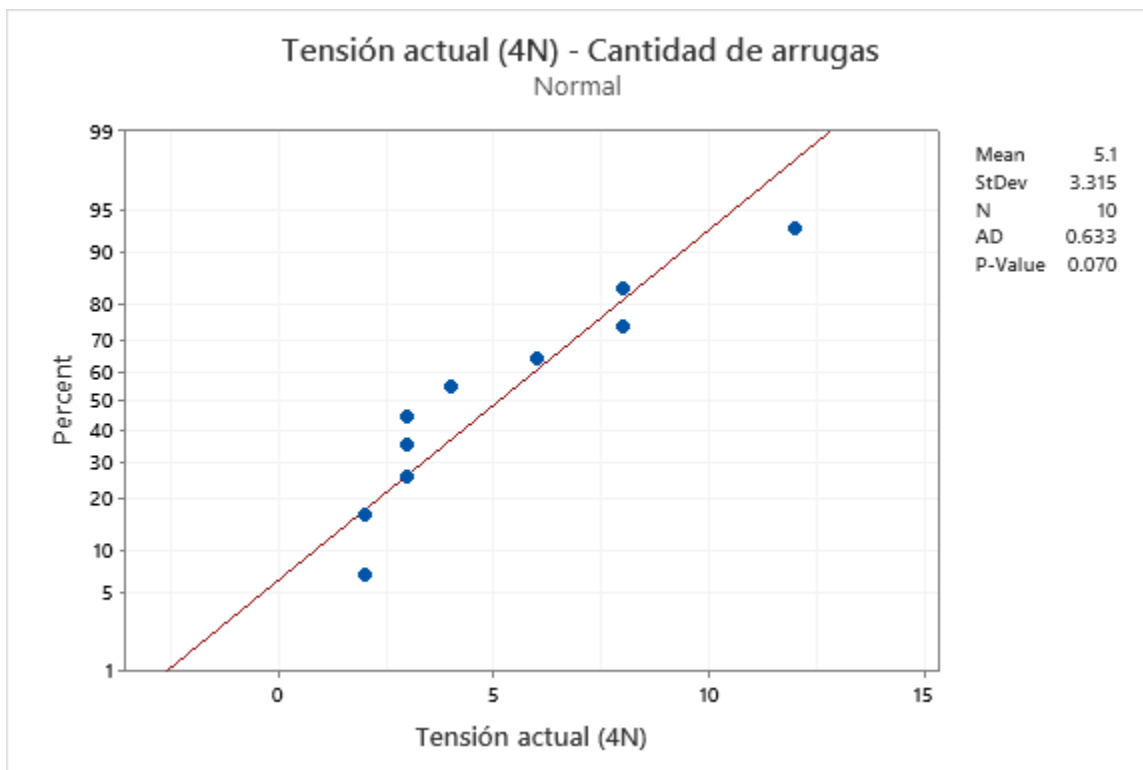
Hipótesis nula (H_0): Los datos de muestra se ajustan a una distribución normal.

Hipótesis alternativa (H_1): Los datos no se ajustan a una distribución normal.

De acuerdo con los datos de las muestras de la tensión actual de 4N mostrados en la Tabla 35, y analizada la posible normalidad de los datos, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de normalidad. El valor P-Value indicado en la

Figura 43 es de 0.070, lo cual es mayor a 0.05, por lo tanto, no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de la muestra se ajustan a una distribución normal.

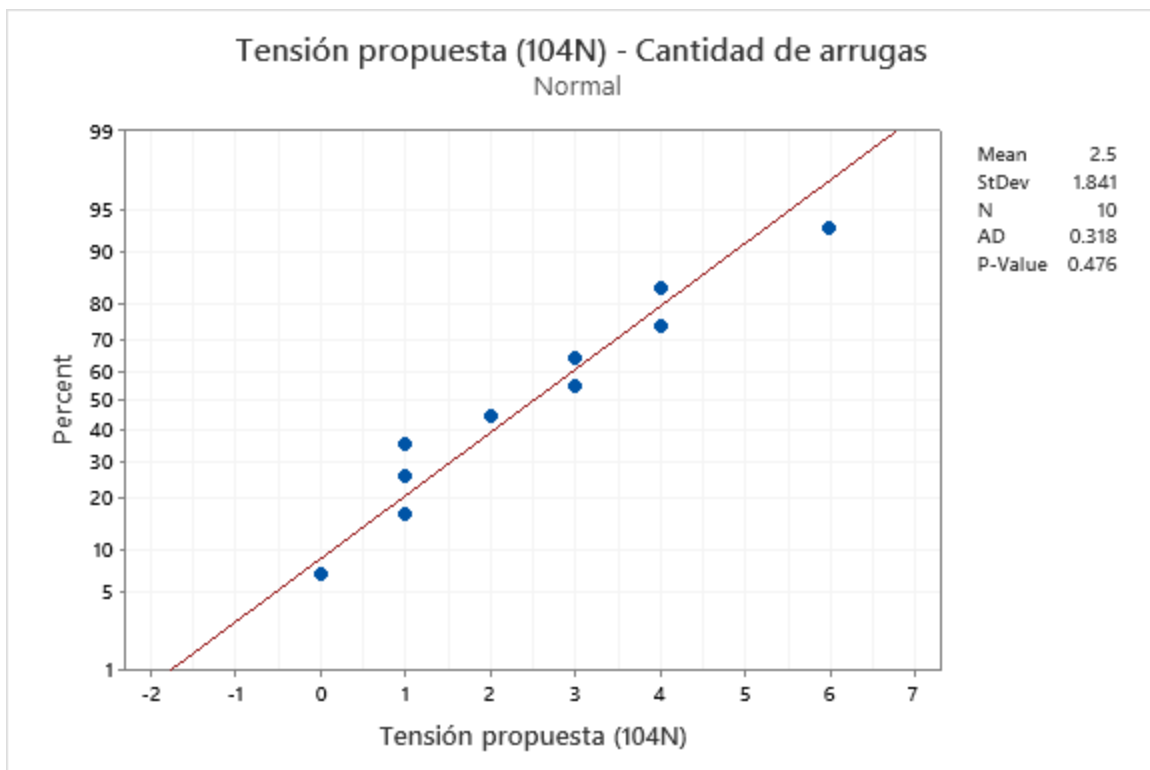
Figura 43 Prueba de normalidad de muestras con tensión 4N



Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los datos de las muestras de la tensión propuesta de 104N mostrados en la Tabla 35, y analizada la posible normalidad de los datos, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de normalidad. El valor P-Value indicado en la Figura 44 es de 0.476, lo cual es mayor a 0.05; por lo tanto, no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de la muestra se ajustan a una distribución normal.

Figura 44 Prueba de normalidad de muestras con tensión 104N



Nota: David Barrios Delgado.

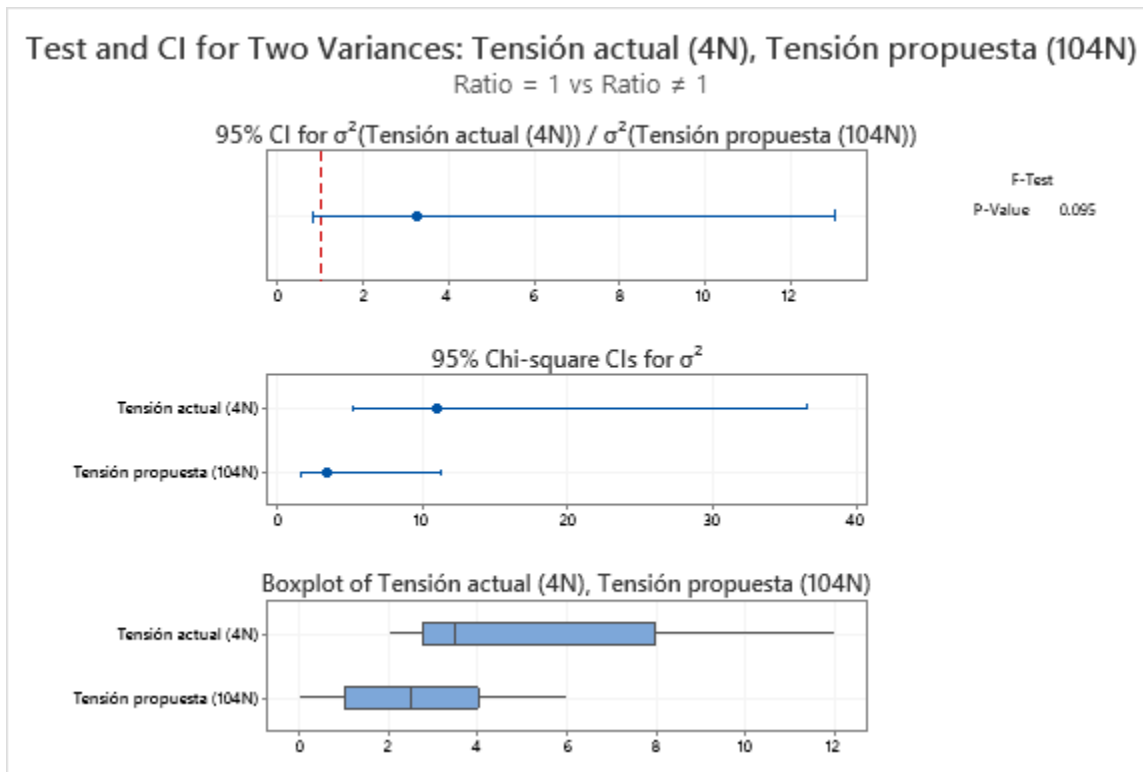
b) Homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula (H_0): (Varianza muestras tensión 4N/Varianza muestras tensión 104N) = 1.

Hipótesis alternativa (H_1): (Varianza muestras tensión 4N/Varianza muestras tensión 104N) \neq 1.

De acuerdo con los datos de las muestras de la tensión actual de 4N y la tensión propuesta mostrados en la Tabla 35, y analizada la posible homogeneidad de varianzas, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de homogeneidad de varianzas. El valor P-Value indicado en la Figura 45 es de 0.095, lo cual es mayor a 0.05; por lo tanto, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de las muestras se ajustan a datos con varianzas homogéneas.

Figura 45 Prueba de homogeneidad de varianzas – Tensión de linner



Nota: David Barrios Delgado.

Conociendo resultados de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas llevados a cabo a las muestras de la tensión de linner actual y propuesta, se procede a realizar la prueba t student para muestras. Es requerido para identificar si la diferencia de las medias de ambas muestras muestra es estadísticamente diferente, comprobando que estadísticamente la media de las muestras de las pruebas con tensión de 104N difiere de la media de las muestras de las pruebas con la tensión actual.

Hipótesis nula (H_0): (Media de muestra tensión 4N/Media de muestra tensión 104N) = 1.

Hipótesis alternativa (H_1): (Media de muestra tensión 4N/Media de muestra tensión 104N) \neq 1.

De acuerdo con los resultados obtenidos y detallados en la Figura 46, el valor P-Value da como resultado 0.044, lo cual es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que indica que la media de ambas muestras son iguales. Por contraparte, con una 95% de confianza, se acepta la hipótesis alternativa que indica que existen diferencias significativas entre ambas muestras.

Figura 46 Resultado del P-Value de la prueba t student – Tensión del linner

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Tensión actual (4N)	10	5.10	3.31	1.0
Tensión propuesta (104N)	10	2.50	1.84	0.58

Estimation for Difference

Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference
2.60	2.68	(0.08, 5.12)

Test

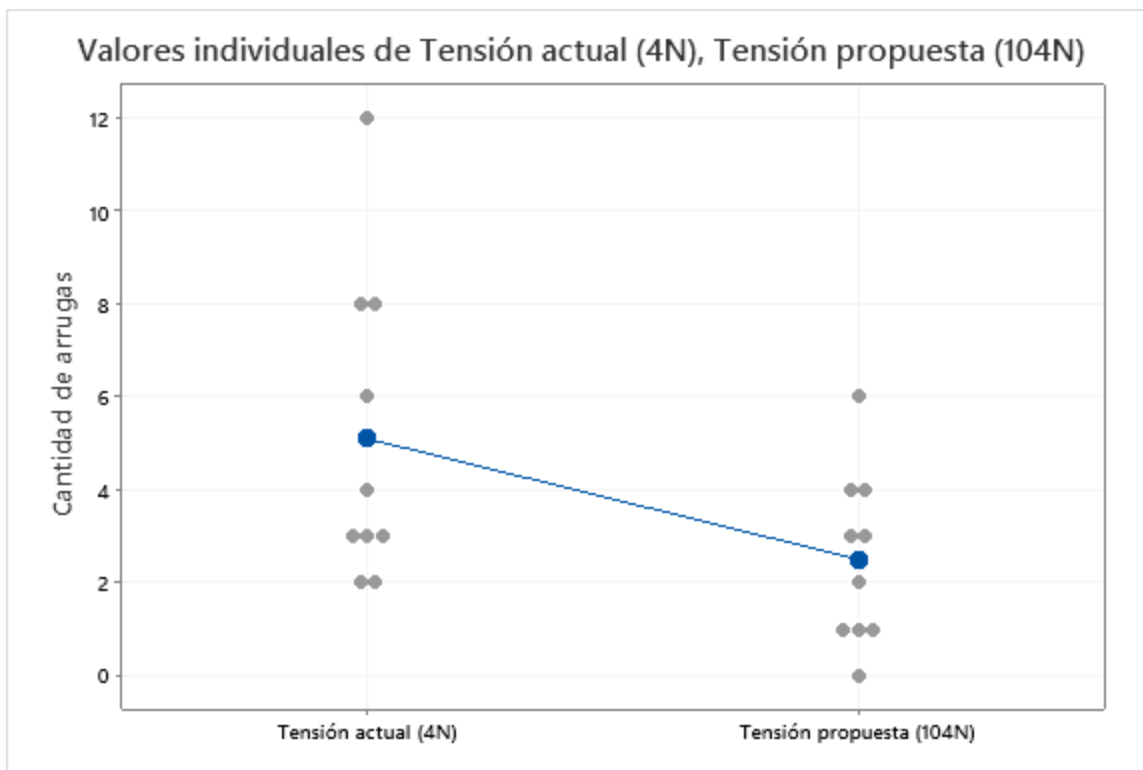
Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
2.17	18	0.044

Nota: David Barrios Delgado.

La diferencia entre ambas muestras nos da como resultado que, estadísticamente, en efecto usar una tensión de linner de 104N genera menos arrugas que usando la tensión de linner actual de 4N. La diferencia se visualiza en la Figura 47, donde se identifica que la tensión de 104N es la mejor opción para no generar arrugas.

Figura 47 Diferencia entre medias – Tensión de linner



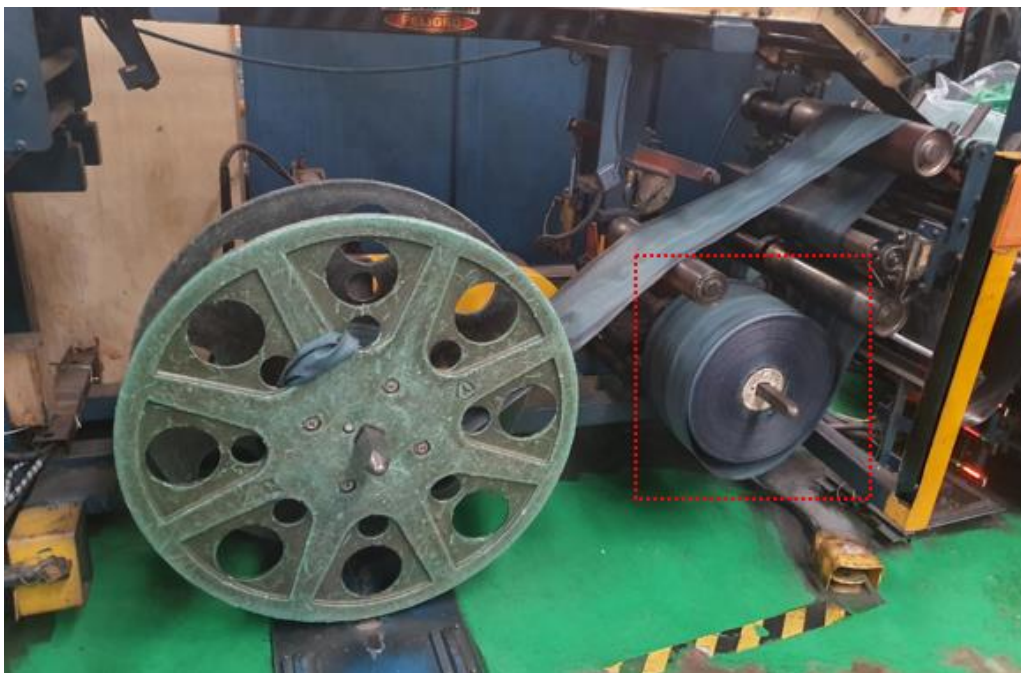
Nota: David Barrios Delgado.

KPIV#2 Freno del transporte.

El freno del transporte es el que regula cada enrollado de la carrucha con la capa estabilizadora. Los 250 m de material que contiene cada carrucha no se enrollan de forma continua sobre el linner, debido a que el enrollado depende de la velocidad de corte de la capa estabilizadora, por lo tanto, en promedio, cada tres metros se detiene el enrollado aproximadamente cinco segundos. Cada frenada está asociada a generación de arrugas en la capa estabilizadora, según análisis del FMEA mostrado en la Tabla 28.

En la Figura 48 se muestra la posición del linner durante el enrollado de capa estabilizadora, el cual es el que frena para detener la carrucha. La presión del freno del transporte es independiente de la tensión del linner.

Figura 48 Freno del transporte de la carrucha de capa estabilizadora



Nota: David Barrios Delgado.

La presión del freno, de igual forma que la tensión de enrollado se configura por parte del operador de la máquina, el cual la ajusta según conveniencia para mitigar problemas durante el enrollado de la capa estabilizadora. La máquina ST-4 opera actualmente con una presión de freno del transporte de 40 PSI; sin embargo, es ajustable por parte del operador de la máquina si así lo considera.

Con el fin de evaluar la cantidad de arrugas generadas en cada carrucha de capa si se producen cambios en la presión del freno del transporte, se procede a generar pruebas en el total de la población de 10 carruchas, variándoles la presión de freno del transporte a cinco grupos diferentes de carruchas de capa estabilizadora y revisando en cada frenada y durante los cinco segundos de espera, si se generó arrugas en la capa. Lo anterior con base en el cálculo del tamaño de la muestra detallado en la Figura 5, que en este corresponde al 100% de la población de diez carruchas de capa estabilizadora.

En la Tabla 36 se detalla las presiones del freno del transporte durante la producción y la cantidad de arrugas generadas según la presión estipulada en las pruebas.

Tabla 36 Muestras de carruchas de capa estabilizadora con cambios en la presión del freno

	Presión actual	#1	#2	#3	#4	#5
Presión (PSI):	40	25	30	35	45	50
Carrucha #1	5	8	1	8	2	2
Carrucha #2	4	2	2	4	7	1
Carrucha #3	1	4	1	5	2	2
Carrucha #4	3	4	5	5	6	8
Carrucha #5	3	2	0	2	6	7
Carrucha #6	3	2	2	2	1	6
Carrucha #7	3	4	3	1	4	6
Carrucha #8	4	2	1	2	4	7
Carrucha #9	2	7	0	2	1	1
Carrucha #10	2	2	2	1	2	2
Cantidad de arrugas:	30	37	17	32	35	42
% Reducción:	-	-23%	43%	-7%	-17%	-40%

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede ver en la Tabla 36, la presión de freno que más reducciones de arrugas ocasionó es la presión de 30 PSI (Prueba #2), con una reducción de la cantidad de arrugas de 43%, respecto a la presión de freno actual de 40 PSI.

Prueba t-student 2 muestras

Para confirmar si la reducción entre la prueba #2 y la presión de freno actual es estadísticamente significativa, se realiza la prueba t-student 2 muestras. Para la prueba, es necesario confirmar antes si los datos evaluados cumplen con los principios de:

- a) Normalidad de datos.
- b) Homogeneidad de varianzas.

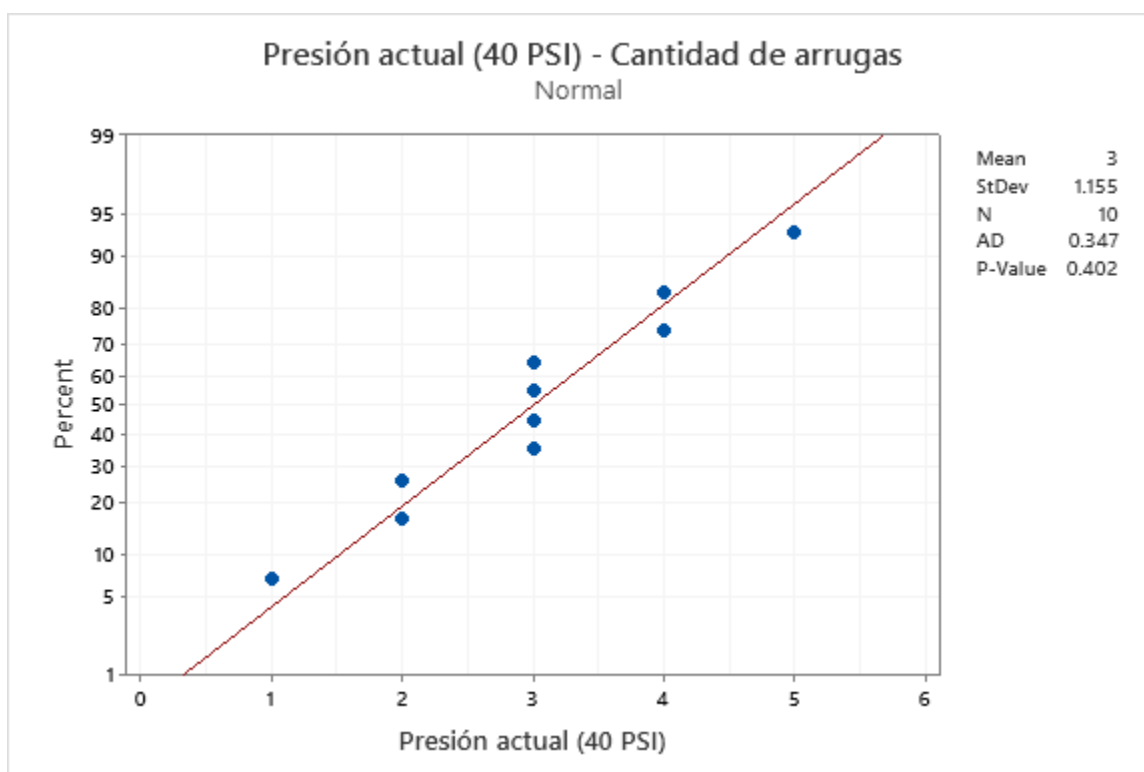
a) Normalidad de datos

Hipótesis nula (H_0): Los datos de muestra se ajustan a una distribución normal.

Hipótesis alternativa (H_1): Los datos no se ajustan a una distribución normal.

De acuerdo con los datos de las muestras de la presión de freno actual de 40 PSI mostrados en la Tabla 36, y analizada la posible normalidad de los datos, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de normalidad. El valor P-Value indicado en la Figura 49 es de 0.402, lo cual es mayor a 0.05; por lo tanto, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de la muestra se ajustan a una distribución normal.

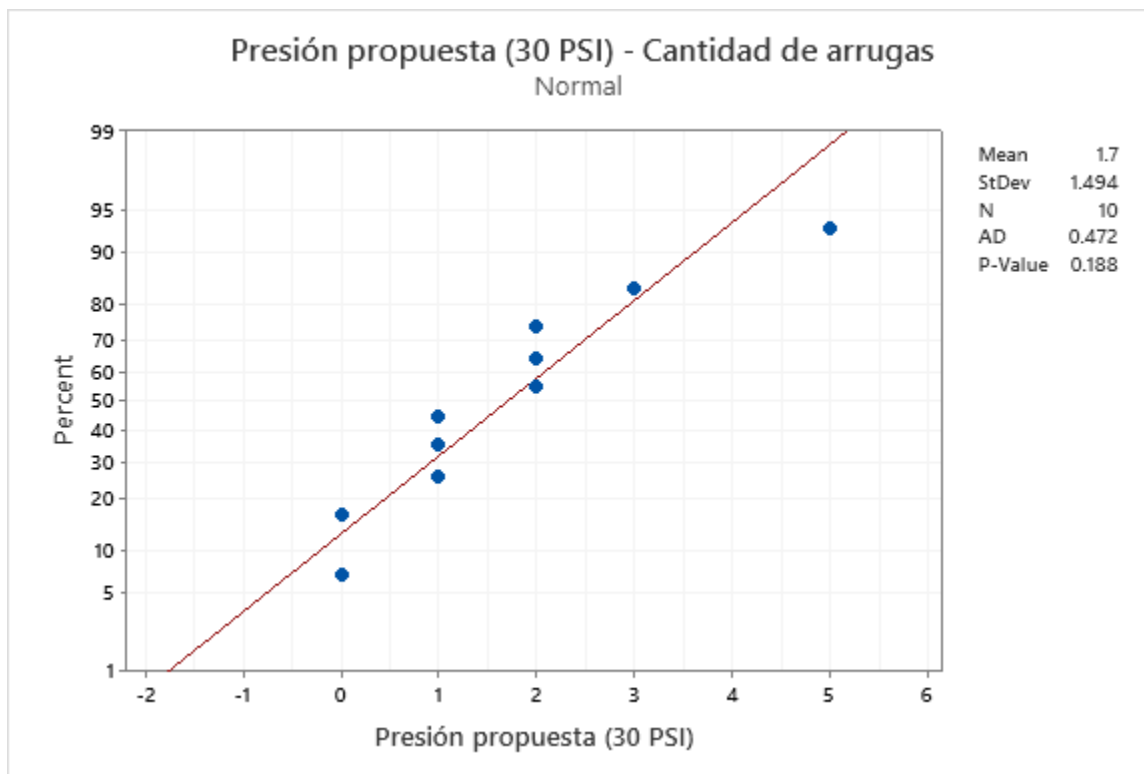
Figura 49 Prueba de normalidad de muestras con presión de freno actual de 40 PSI



Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los datos de las muestras de la presión de freno propuesta de 30 PSI mostrados en la Tabla 36, y analizada la posible normalidad de los datos, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de normalidad. El valor P-Value indicado en la Figura 50 es de 0.188, lo cual es mayor a 0.05; por lo tanto, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de la muestra se ajustan a una distribución normal.

Figura 50 Prueba de normalidad de muestras con presión de freno propuesta de 30 PSI



Nota: David Barrios Delgado.

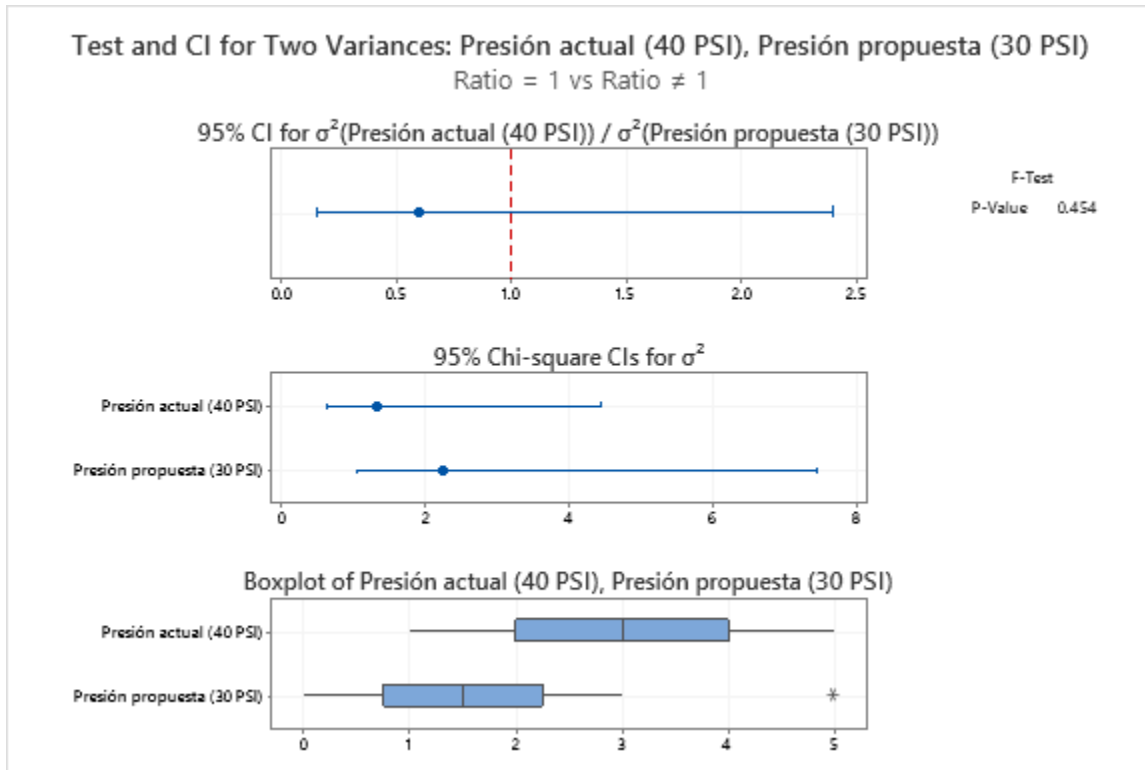
b) Homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula (H_0): (Varianza muestras presión 40PSI/Varianza muestras presión 30PSI) = 1

Hipótesis alternativa (H_1): (Varianza muestras presión 40PSI/Varianza muestras presión 30PSI) \neq 1

De acuerdo con los datos de las muestras de la tensión actual de 40 PSI y la presión propuesta de 30 PSI mostrados en la Tabla 36, y analizada la posible homogeneidad de varianzas, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de homogeneidad de varianzas. El valor P-Value indicado en la Figura 51 es de 0.454, lo cual es mayor a 0.05; por ende, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de las muestras se ajustan a datos con varianzas homogéneas.

Figura 51 Prueba de homogeneidad de varianzas – Presión del freno



Nota: David Barrios Delgado.

Conociendo resultados de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas llevados a cabo a las muestras de la presión de freno actual y propuesta, se procede a realizar la prueba t student para ambas muestras. Es requerido para identificar si la diferencia de las medias de ambas muestras es estadísticamente diferente, comprobando que estadísticamente la media de las muestras de las pruebas con presión de freno de 30 PSI difiere de la media de las muestras de las pruebas con la tensión actual.

Hipótesis nula (H_0): (Media de muestra presión 40 PSI/Media de muestra presión 30 PSI) =1.

Hipótesis alternativa (H_1): (Media de muestra presión 40 PSI/Media de muestra presión 30 PSI) \neq 1.

De acuerdo con los resultados obtenidos y detallados en la Figura 52, el valor P-Value da como resultado 0.043, lo cual es menor a 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que indica que la

media de ambas muestras son iguales. Por contraparte, con un 95% de confianza, se acepta la hipótesis alternativa que indica que existen diferencias significativas entre ambas muestras.

Figura 52 Resultado del P-Value de la prueba t student – Presión del freno del transporte

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Presión actual (40 PSI)	10	3.00	1.15	0.37
Presión propuesta (30 PSI)	10	1.70	1.49	0.47

Estimation for Difference

Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference
1.300	1.335	(0.045, 2.555)

Test

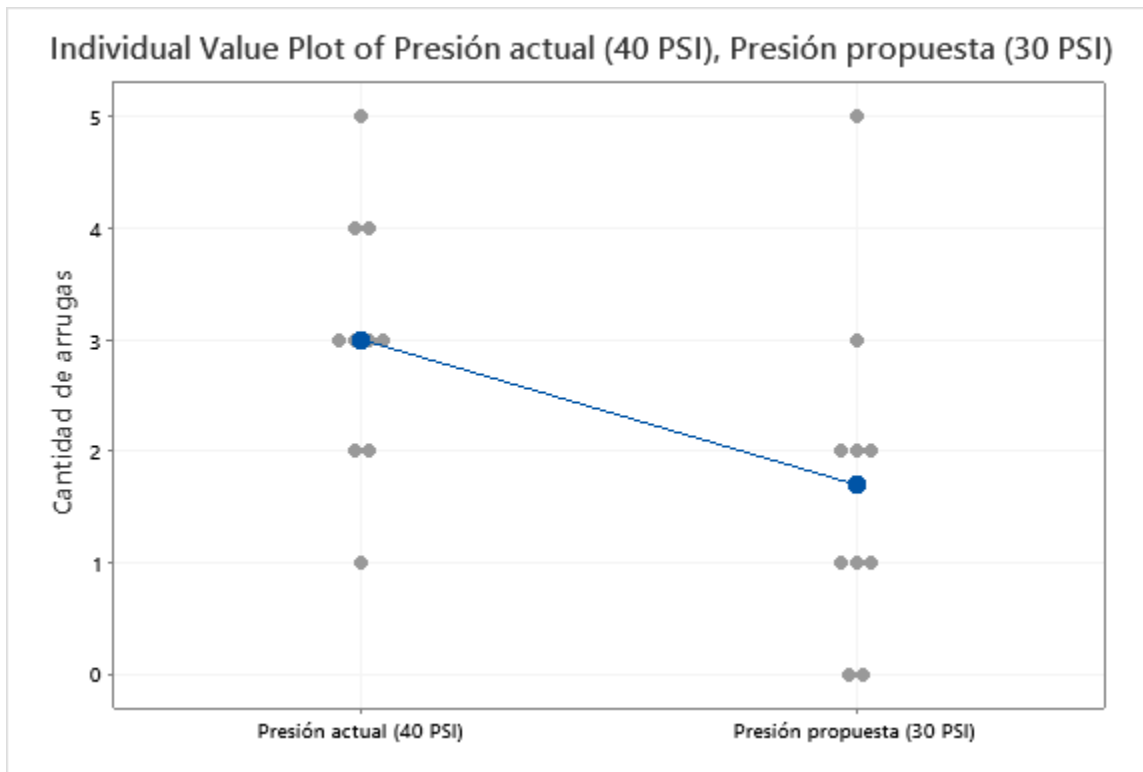
Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
2.18	18	0.043

Nota: David Barrios Delgado.

La diferencia entre ambas muestras nos da como resultado que, estadísticamente, en efecto usar una presión de freno de 30 PSI genera menos arrugas que usando la presión de freno actual de 40 PSI. La diferencia se visualiza en la Figura 53, donde se identifica que la presión de freno de 30 PSI es la mejor opción para no generar arrugas.

Figura 53 Diferencia entre medias – Presión de freno



Nota: David Barrios Delgado.

KPIV#3 Tipo de linner.

El linner es el material sobre el cual se enrolla la capa estabilizadora. Tiene como finalidad enrollar toda la capa estabilizadora y evitar que esta se pegue entre sí. En la empresa existen dos departamentos que usan linner para enrollar sus materiales, y son el Departamento de Steelastic y el de Tubuladoras, quienes enrollan capa estabilizadora y paredes, respectivamente.

No existe distinción entre el linner para ser usado en cada departamento, por lo que se comparte entre ambos.

Con base en el análisis del FMEA de la Tabla 28, el tipo de linner es una variable que es generador de arrugas en la capa estabilizadora, por lo que es requerido controlar y mejorar esta variable.

En la

Figura 54 se muestra el linner y su papel de enrollado de la capa estabilizadora en la máquina ST-4 del Departamento de Steelastic.

Figura 54 Linner en la capa estabilizadora



Nota: David Barrios Delgado.

Actualmente, los linner de la empresa cuentan con más de seis años de uso continuo. Cuando un linner se daña es trasladado a la zona de reparación de linner, donde es reparado para volverlo al proceso. El encargado de reparar los linner da la orden cuando, a su criterio, un linner viejo (igual o mayor a 6 años de uso) en definitiva debe ser retirado del proceso. En esos casos se retira y en sustitución se ingresa uno nuevo. Cada seis años el 30% del inventario de linner viejo es renovado por el proveedor. De acuerdo con el análisis FMEA detallado en la Tabla 28, el tipo de linner es generador de arrugas en la capa estabilizadora durante su traslado hacia las máquinas del Departamento de Armado. Por lo tanto, para evaluarlo, se procede a realizar pruebas para

confirmarlo. En dos días, se produjo en un día la totalidad de la producción con linner viejo, y en otro día se produjo la totalidad de la producción con linner nuevo (menos de seis años de uso). En ambas pruebas, y para cada una de las diez carruchas de cada día, se verificó que la producción de 250 m estuviera sin arrugas, para separar el impacto de la tensión del linner o la presión de freno del transporte, y así poder evaluar el impacto del linner durante el traslado de las carruchas hacia las máquinas del Departamento de Armado.

Posteriormente, cada una de las muestras fue desenrollada para verificar arrugas generadas propias del traslado y movimientos del giro de las carruchas, y se obtuvo los resultados indicados en la Tabla 37.

Tabla 37 Muestras de carruchas de capa estabilizadora con diferente tipo de linner

	Linner viejo	Linner nuevo
Carrucha #1	3	1
Carrucha #2	2	2
Carrucha #3	4	1
Carrucha #4	1	2
Carrucha #5	4	1
Carrucha #6	2	2
Carrucha #7	2	0
Carrucha #8	1	3
Carrucha #9	5	1
Carrucha #10	4	2
Cantidad de arrugas:	28	15
% Reducción:	-	46%

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede ver en la Tabla 37, las carruchas de capa estabilizadora con linner nuevo presentaron menos arrugas, con una reducción de la cantidad de arrugas de 46%, respecto a las carruchas de capa estabilizadora con linner viejo.

Prueba t-student 2 muestras

Para confirmar si la reducción entre la prueba con linner nuevo y el uso de linner viejo es estadísticamente significativa, se realiza la prueba t-student 2 muestras. Para la prueba, es necesario confirmar antes si los datos evaluados cumplen con los principios de:

- a) Normalidad de datos.
- b) Homogeneidad de varianzas.

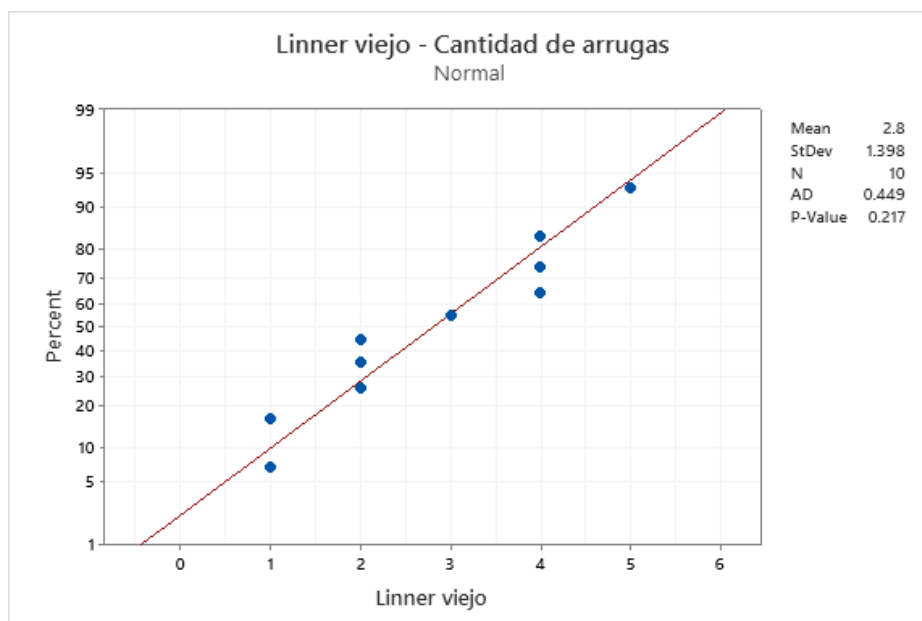
a) Normalidad de datos

Hipótesis nula (H_0): Los datos de muestra se ajustan a una distribución normal.

Hipótesis alternativa (H_1): Los datos no se ajustan a una distribución normal.

De acuerdo con los datos de las muestras de las carruchas de capa estabilizadora con linner viejo mostrados en la Tabla 37, y analizada la posible normalidad de los datos, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de normalidad. El valor P-Value indicado en la Figura 55 es de 0.217, lo cual es mayor a 0.05; por lo tanto, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de la muestra se ajustan a una distribución normal.

Figura 55 Prueba de normalidad de muestras con linner viejo

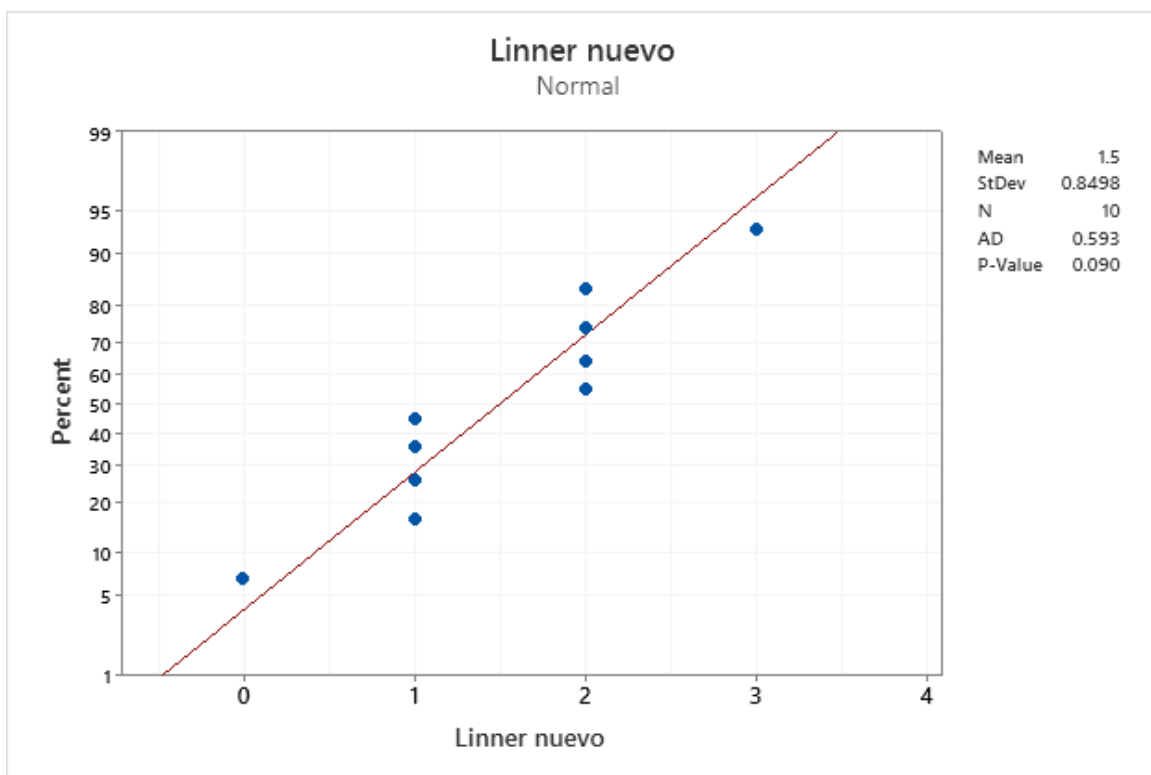


Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los datos de las muestras de las carruchas de capa estabilizadora con linner nuevo mostrados en la Tabla 37, y analizada la posible normalidad de los datos, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de normalidad. El valor P-Value indicado en la

Figura 56 es de 0.090, lo cual es mayor a 0.05; por lo tanto, no se presenta evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de la muestra se ajustan a una distribución normal.

Figura 56 Prueba de normalidad de muestras con linner nuevo.



Nota: David Barrios Delgado.

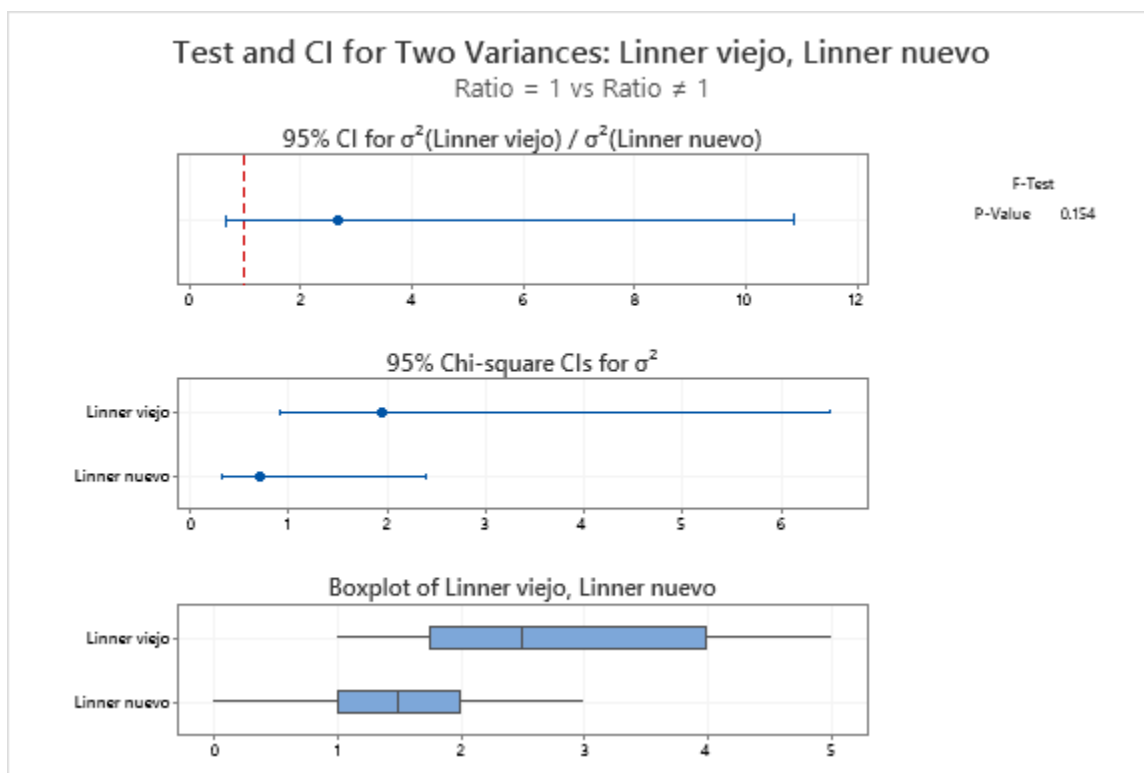
b) Homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula (H_0): (Varianza muestras con linner viejo/Varianza muestras con linner nuevo) = 1.

Hipótesis alternativa (H_1): (Varianza muestras con linner viejo/Varianza muestras con linner nuevo) \neq 1.

De acuerdo con los datos de las muestras con linner viejo y nuevo mostrados en la Tabla 37, y analizada la posible homogeneidad de varianzas, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de homogeneidad de varianzas. El valor P-Value indicado en la Figura 57 es de 0.154, lo cual es mayor a 0.05; por tanto, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de las muestras se ajustan a datos con varianzas homogéneas.

Figura 57 Prueba de homogeneidad de varianzas – Tipo de linner



Nota: David Barrios Delgado.

Una vez conocidos los resultados de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas llevados a cabo a las muestras con uso de linner viejo y nuevo, se procede a realizar la prueba t student para ambas muestras. Es requerido para identificar si la diferencia de las medias de ambas muestras es estadísticamente diferente, comprobando que estadísticamente la media de la muestra de las pruebas con linner nuevo difiere de la media de la muestra de las pruebas con linner viejo.

Hipótesis nula (H_0): (Media de muestra linner viejo/Media de muestra presión linner nuevo) =1.

Hipótesis alternativa (H_1): (Media de muestra linner viejo/Media de muestra linner nuevo) \neq 1.

De acuerdo con los resultados obtenidos y detallados en la Figura 58, el valor P-Value da como resultado 0.022, lo cual es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que indica que la media de ambas muestras son iguales. Por contraparte, con un 95% de confianza, se acepta la hipótesis alternativa que indica que existen diferencias significativas entre ambas muestras.

Figura 58 Resultado del P-Value de la prueba t student – Tipo de linner.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Linner viejo	10	2.80	1.40	0.44
Linner nuevo	10	1.500	0.850	0.27

Estimation for Difference

Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference
1.300	1.157	(0.213, 2.387)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

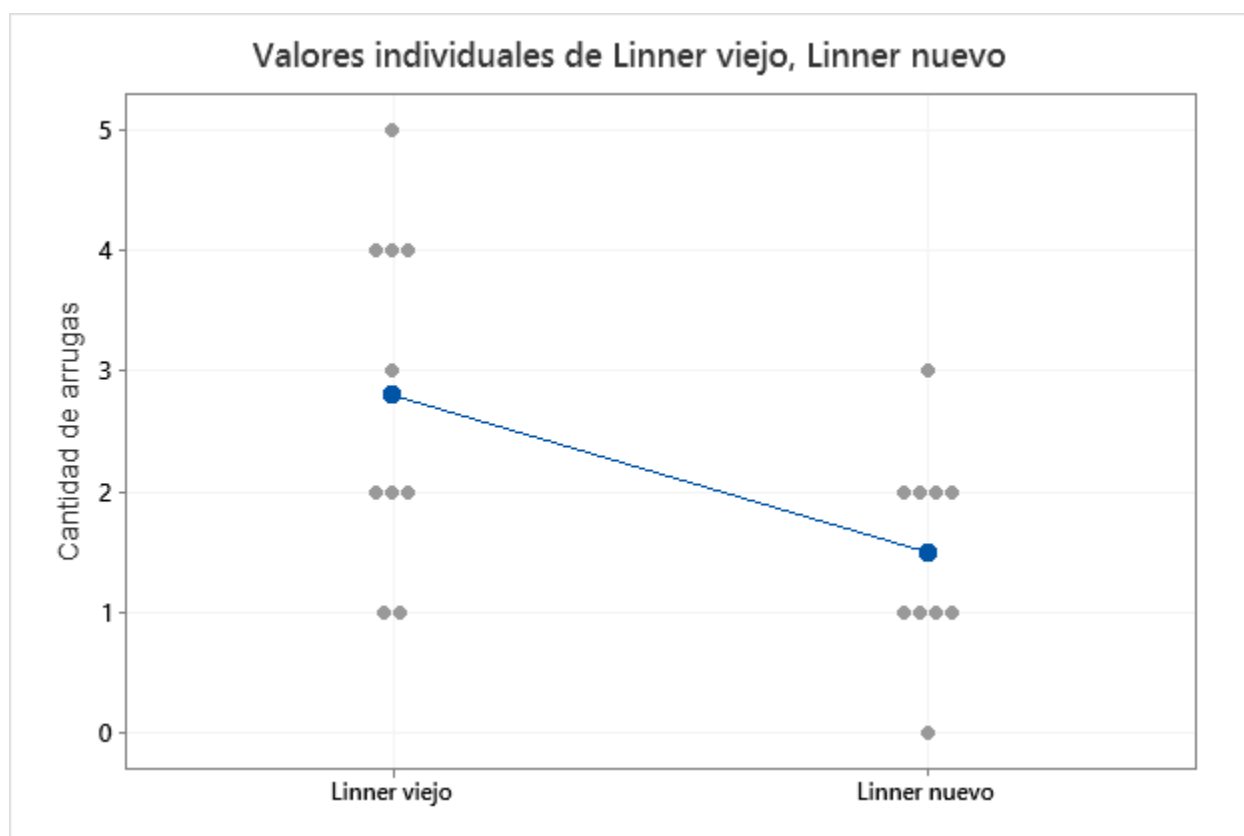
T-Value	DF	P-Value
2.51	18	0.022

Nota: David Barrios Delgado.

La diferencia entre ambas muestras nos da como resultado que, estadísticamente, en efecto usar linner nuevo en las carruchas de capa estabilizadora genera menos arrugas que usando linner viejo. La diferencia se visualiza en la

Figura 59, en la cual se identifica que el uso de linner nuevo en las carruchas de capa estabilizadora, es la mejor opción para no generar arrugas.

Figura 59 Diferencia entre medias – Tipo de linner



Nota: David Barrios Delgado.

KPIV#4 Giro y condición de los rodillos.

Los rodillos de las máquinas KB son aquellos por sobre las cuales la capa estabilizadora hace el recorrido desde la capa estabilizadora hasta ser colocada sobre el diámetro de la llanta. Todos los

modelos de llantas utilizan dos capas, por lo que cada máquina KB utiliza dos carruchas de capa estabilizadora.

El KPIV en análisis será evaluado en la máquina KB-13, de acuerdo con el análisis detallado previamente en la Tabla 25.

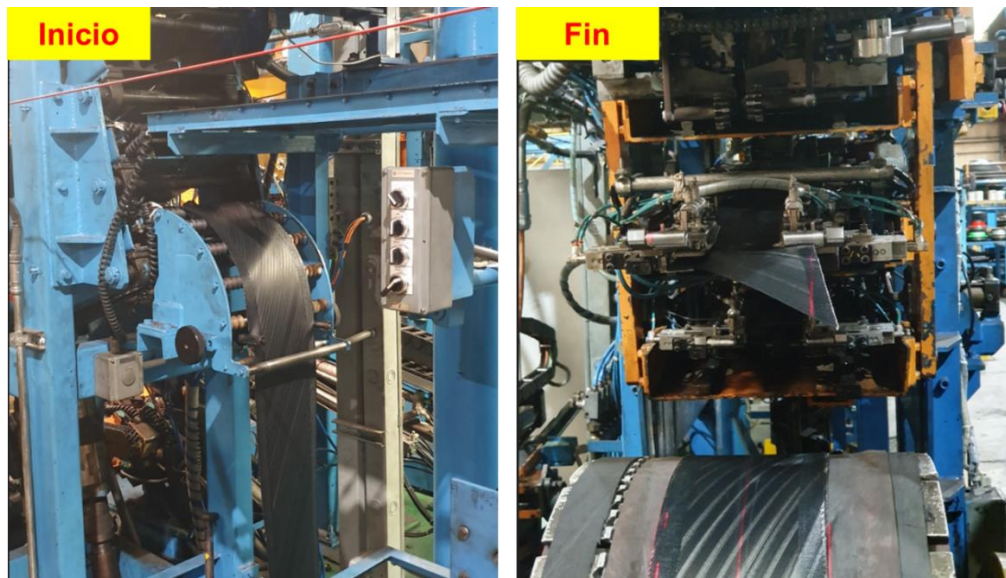
La Figura 60 muestra la ubicación de las carruchas de capa estabilizadora en la máquina KB-13, y en la Figura 61 se detalla el inicio y el fin del recorrido de la capa estabilizadora sobre los rodillos de la máquina.

Figura 60 Ubicación de carruchas de capa estabilizadora en máquina KB-13



Nota: David Barrios Delgado.

Figura 61 Recorrido de capa estabilizadora en máquina KB-13



Nota: David Barrios Delgado.

Con base en el análisis FMEA detallado en la Tabla 31, el giro y la condición de los rodillos de las máquinas KB, es una variable que es generador de arrugas en la capa estabilizadora, por lo que es requerido evaluar el origen de esta causa. En este caso se evaluarán los rodillos de la máquina KB-13. El análisis FMEA indica que la capa se arruga al frenarse en los rodillos de la máquina KB.

Los eventos de capa arrugada asociados a los rodillos de las máquinas KB ocurren cuando la capa estabilizadora se queda atorada en los rodillos, agrandando la arruga en los siguientes metros de la capa estabilizadora, por lo que el final de la capa estabilizadora no se aplica en la llanta. De tal modo, se causa una parada de máquina mientras el operador logra desenredar y cortar el metro de la capa estabilizadora de los rodillos de la máquina. Cada parada de máquina por atoramientos de la capa estabilizadora en los rodillos lleva consigo no solo la parada de la máquina, sino también el desecho del metro de la capa estabilizadora.

Para evaluar el giro y la condición de los rodillos y su relación en la generación de arrugas en la capa estabilizadora, se procede a evaluarlos realizando una prueba con dos grupos de carruchas de capas estabilizadoras. En dos días, se seleccionó una muestra aleatoria por el total de la población de diez carruchas de estabilizadora. En un grupo las carruchas de capa estabilizadora se produjeron sin arrugas, y el otro se produjo con arrugas.

El grupo de diez carruchas de capa estabilizadora sin arrugas se produjo extrayendo aquellos cortes que generaron arrugas durante su proceso de producción de la máquina ST-4. Adicionalmente, se verificó en la máquina KB-13 que cada corte al iniciar su recorrido en los rodillos no contara con arrugas, de forma que se descartaron aquellos metros con arrugas que se generaron durante el traslado hacia la máquina KB-13 (efecto KPIV#3-Tipo de linner).

El otro grupo de diez carruchas de capa estabilizadora con arrugas se produjo sin descartar arrugas generadas durante el proceso de producción en la máquina ST-4 (efecto KPIV#1-Tensión del linner y KPIV#2-Presión del freno del transporte).

A la luz de los datos mostrados en la

Tabla 38, las carruchas de capa estabilizadora sin arrugas no generaron ninguna parada de máquina, mientras que las carruchas de capa estabilizadora con arrugas generaron paradas de máquina en un 51,35% de los casos, principalmente porque la arruga se pega en los rodillos. Es decir, es probable que los rodillos de la máquina no generan arrugas al frenar, por el contrario, la capa arrugada se enreda en los rodillos e incluso se agrava la arruga.

Tabla 38 Muestras de carruchas para evaluación de rodillos de máquina KB-13

	Sin arrugas	Con arrugas	
	Cantidad de paradas de máquina	Cantidad de arrugas en las carruchas	Cantidad de paradas de máquina
Carrucha #1	0	2	2
Carrucha #2	0	5	3
Carrucha #3	0	4	2
Carrucha #4	0	3	2
Carrucha #5	0	3	1
Carrucha #6	0	5	3
Carrucha #7	0	6	3
Carrucha #8	0	3	1
Carrucha #9	0	3	1
Carrucha #10	0	3	1
Paradas de máquina:	0	37	19

Nota: David Barrios Delgado.

La figura

Figura 62 muestra la problemática encontrada durante la prueba mencionada.

Figura 62 Capa estabilizadora enredada en los rodillos de la máquina KB-13



Nota: David Barrios Delgado.

Para confirmar la teoría vista en la prueba detallada en la

Tabla 38 de que las arrugas de la capa estabilizadora se agravan al pasar sobre los rodillos de la máquina KB-13, se realiza una prueba en la máquina pasando capa estabilizadora con una arruga en cada metro.

Cada carrucha contiene 250 m. Cada llanta de la máquina KB-13 consumen 1,2 m; y son dos capas por llanta, por lo que cada llanta consume 2,4 m de capa estabilizadora. El objetivo de producción de la máquina KB-13 es, de acuerdo con la información detallada en la Tabla 6, 375 llantas por día, que equivalen a 900 m de capa estabilizadora por día.

La población de capa estabilizadora en la máquina KB-13 es, por lo tanto, de 900 m. Según el detalle del cálculo del tamaño de la muestra indicado en la Figura 5, y tomando como base una confianza del 95% y una probabilidad de éxito del 50%, el tamaño de la muestra es de 269 m, o su equivalente a 1,08 carruchas de capa estabilizadora.

Para lograr la prueba, se tomó de forma aleatoria los 269 m de material descartado para producción por temas de calidad, y se probaron en la máquina KB-13 durante un paro por mantenimiento preventivo, pasando la capa por los rodillos de la máquina. A cada metro se le generó una arruga de 3 cm de forma manual, y se desea comprobar si la arruga se agrava al pasar por los rodillos de la máquina. La Tabla 39 (donde #=número de la prueba y R/=resultado obtenido) muestra los datos de las muestras de capa arrugada y su verificación de si se agravó la arruga tras pasar por los rodillos de la máquina.

Tabla 39 Muestras de capa arrugada tras pasar por rodillos de máquina KB-13

#	R/	#	R/	#	R/	#	R/	#	R/	#	R/	#	R/	#	R/
#1	S	#35	S	#69	N	#103	S	#137	N	#171	S	#205	S	#239	S
#2	N	#36	S	#70	N	#104	S	#138	S	#172	S	#206	S	#240	S
#3	N	#37	S	#71	N	#105	S	#139	N	#173	S	#207	S	#241	S
#4	N	#38	N	#72	N	#106	S	#140	S	#174	S	#208	S	#242	S
#5	N	#39	S	#73	N	#107	S	#141	N	#175	S	#209	N	#243	S
#6	S	#40	N	#74	S	#108	N	#142	N	#176	S	#210	N	#244	N
#7	S	#41	S	#75	S	#109	S	#143	N	#177	S	#211	N	#245	N
#8	S	#42	N	#76	N	#110	S	#144	N	#178	S	#212	N	#246	N
#9	S	#43	S	#77	S	#111	N	#145	N	#179	S	#213	S	#247	S
#10	S	#44	N	#78	N	#112	N	#146	S	#180	S	#214	S	#248	S
#11	N	#45	S	#79	N	#113	S	#147	S	#181	S	#215	S	#249	S
#12	N	#46	S	#80	S	#114	N	#148	S	#182	N	#216	N	#250	S
#13	N	#47	S	#81	N	#115	S	#149	N	#183	S	#217	N	#251	S
#14	S	#48	S	#82	S	#116	S	#150	S	#184	N	#218	N	#252	S
#15	S	#49	S	#83	S	#117	S	#151	N	#185	S	#219	S	#253	S
#16	S	#50	N	#84	S	#118	S	#152	S	#186	S	#220	S	#254	S
#17	S	#51	N	#85	S	#119	S	#153	N	#187	N	#221	S	#255	S
#18	S	#52	N	#86	S	#120	N	#154	N	#188	N	#222	S	#256	N
#19	N	#53	N	#87	S	#121	S	#155	S	#189	N	#223	N	#257	N
#20	S	#54	N	#88	N	#122	S	#156	S	#190	N	#224	S	#258	N
#21	S	#55	S	#89	N	#123	S	#157	S	#191	S	#225	N	#259	N
#22	S	#56	S	#90	S	#124	S	#158	S	#192	N	#226	S	#260	N
#23	S	#57	S	#91	S	#125	S	#159	N	#193	N	#227	N	#261	S
#24	N	#58	S	#92	N	#126	S	#160	S	#194	S	#228	S	#262	S
#25	S	#59	S	#93	S	#127	S	#161	N	#195	N	#229	N	#263	S
#26	S	#60	N	#94	N	#128	N	#162	N	#196	N	#230	S	#264	S
#27	S	#61	N	#95	S	#129	S	#163	S	#197	S	#231	S	#265	S

#	R/	#	R/	#	R/	#	R/	#	R/	#	R/	#	R/	#	R/
#28	S	#62	N	#96	N	#130	N	#164	S	#198	S	#232	S	#266	S
#29	N	#63	N	#97	N	#131	S	#165	S	#199	N	#233	S	#267	S
#30	N	#64	S	#98	S	#132	N	#166	S	#200	N	#234	S	#268	S
#31	S	#65	S	#99	S	#133	S	#167	N	#201	N	#235	S	#269	S
#32	S	#66	N	#100	S	#134	N	#168	S	#202	N	#236	S		
#33	N	#67	N	#101	S	#135	S	#169	N	#203	N	#237	S		
#34	N	#68	N	#102	S	#136	N	#170	S	#204	N	#238	S		

Nota: David Barrios Delgado.

A la luz de los datos de la Tabla 39, en un 60,97% de los casos la arruga se agrandó (muestras identificadas con S), lo que en producción normal hubiese repercutido en una parada de máquina. Por el contrario, el 39,03% de las muestras pasaron por los rodillos sin agravarse su tamaño (muestras identificadas con N). Para comprobar la hipótesis que las arrugas de las capas estabilizadoras se agravan tras pasar por los rodillos, se realiza una prueba de hipótesis de 1 proporción.

Prueba de hipótesis de 1 proporción

Hipótesis nula (H_0): (Proporción población (p)) = (Proporción población hipotética (p_0)).

Hipótesis alternativa (H_1): (Proporción población (p)) < (Proporción población hipotética (p_0)).

Basados en los principios de aleatoriedad de la muestra, las categorías de los datos y la independencia entre observaciones, se procede a realizar la prueba de hipótesis.

Datos:

Proporción población (p) = 51,35%, de acuerdo con datos de la

- Tabla 38.
- Proporción población (p_0) = 60,97%, de acuerdo con datos de la Tabla 39.
- Muestra: 269 m.
- $\alpha = 95\%$.

Figura 63 Prueba de hipótesis de 1 proporción – Giro y condición de los rodillos

Test and CI para 1 proporción

Method

p: event proportion

Exact method is used for this analysis.

Descriptive Statistics

N	Event	Sample p	95% Lower Bound for p
269	164	0.609665	0.558153

Test

Null hypothesis $H_0: p = 0.5135$

Alternative hypothesis $H_1: p > 0.5135$

P-Value
0.001

Nota: David Barrios Delgado.

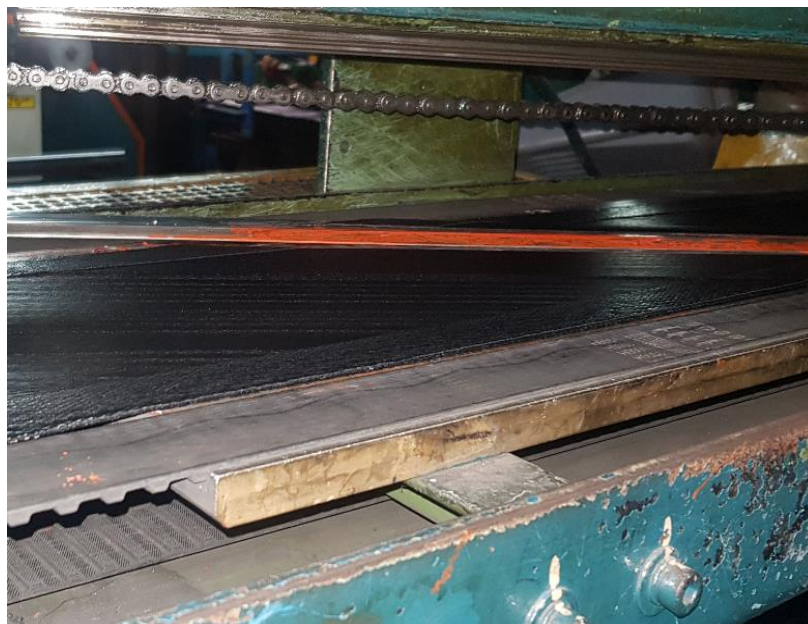
Según el resultado de la prueba de hipótesis de 1 proporción, el valor P-Value es de 0.001, por lo que se rechaza la hipótesis nula, y, por el contrario, con un 95% de confianza hay evidencia estadística para aceptar la hipótesis alternativa que indica que la proporción de muestras de capa arrugada que se agravó tras pasar por los rodillos de la máquina KB-13 es mayor a la proporción estimada de eventos que ocurren.

Por lo tanto, se concluye que cuando la capa presenta arrugas, estas se agravan, causando una potencial parada de máquina y desperdicio de material.

KPIV#5 Condición de la cuchilla de corte de capa.

Las cuchillas de corte de capa estabilizadora en las máquinas KB cortan el material posterior a su paso por los rodillos. La Figura 64 muestra el corte de la capa estabilizadora.

Figura 64 Cuchilla de corte de capa estabilizadora en máquina KB-13



Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con el FMEA detallado en la Tabla 31, la condición de la cuchilla de corte de capa es una variable generadora de arrugas en la capa estabilizadora. Las cuchillas pierden el filo con el tiempo, y son cambiadas cuando el operador de cada máquina reporta cortes incompletos en la capa estabilizadora, o si está generando arrugas luego del corte. En esos casos, los mecánicos del departamento de Mantenimiento se encargan de realizar el cambio de cuchillas. El Departamento de Mantenimiento define cuchillas nuevas a aquellas con menos de 1.5 meses de uso, mientras que aquellas con indicios de desgaste son aquellas con uso igual o superior a 1.5 meses.

Para comprobar la influencia del filo de las cuchillas en la generación de arrugas en la capa estabilizadora, se procede a generar pruebas en el total de la población de diez carruchas. Lo anterior con base en el cálculo del tamaño de la muestra detallado en la Figura 5, que en este corresponde al 100% de la población de diez carruchas de capa estabilizadora.

Se tomaron dos muestras por el total de la población de diez carruchas y, ambas poblaciones de carruchas se consumieron en la máquina KB-13 habiendo usado cuchillas nuevas y cuchillas desgastadas. Este último rubro definido de acuerdo con el criterio del Departamento de Mantenimiento. Se contabilizó la cantidad de arrugas generadas en cada corte para cada carrucha, y los resultados se muestran en la Tabla 40.

Tabla 40 Muestras de carruchas de capa estabilizadora cortada con diferente filo de cuchilla

	Cuchillas nuevas	Cuchillas desgastadas
Carrucha #1	3	6
Carrucha #2	2	4
Carrucha #3	1	5
Carrucha #4	3	8
Carrucha #5	1	5
Carrucha #6	1	2
Carrucha #7	1	6
Carrucha #8	0	3
Carrucha #9	2	4
Carrucha #10	2	4
Cantidad de arrugas:	16	47

Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los datos del corte de capa estabilizadora con diferente filo de cuchilla mostrados en la Tabla 40, las cuchillas desgastadas son hasta 2.94 veces más causantes de arrugas en el material luego del corte realizado. El uso de cuchillas nuevas genera en promedio 1.6 arrugas por carrucha. En contraparte, el uso de cuchillas desgastadas genera 4.7 arrugas por carrucha. Cabe destacar que el 100% de las arrugas generadas con el uso de cuchillas nuevas fue, a diferencia de las arrugas con el uso de cuchillas desgastadas, de tamaño menor a 1 cm, por lo cual cumplen con la longitud máxima de arruga que indica la especificación que define el departamento Técnico.

Prueba t-student 2 muestras

Para confirmar si la reducción de arrugas entre el uso de cuchillas nuevas o desgastadas es estadísticamente significativa, se realiza la prueba t-student 2 muestras, tomando como referencia los datos mostrados en la Tabla 40. Para la prueba, es necesario confirmar antes si los datos evaluados cumplen con los principios de:

- a) Normalidad de datos.
- b) Homogeneidad de varianzas.

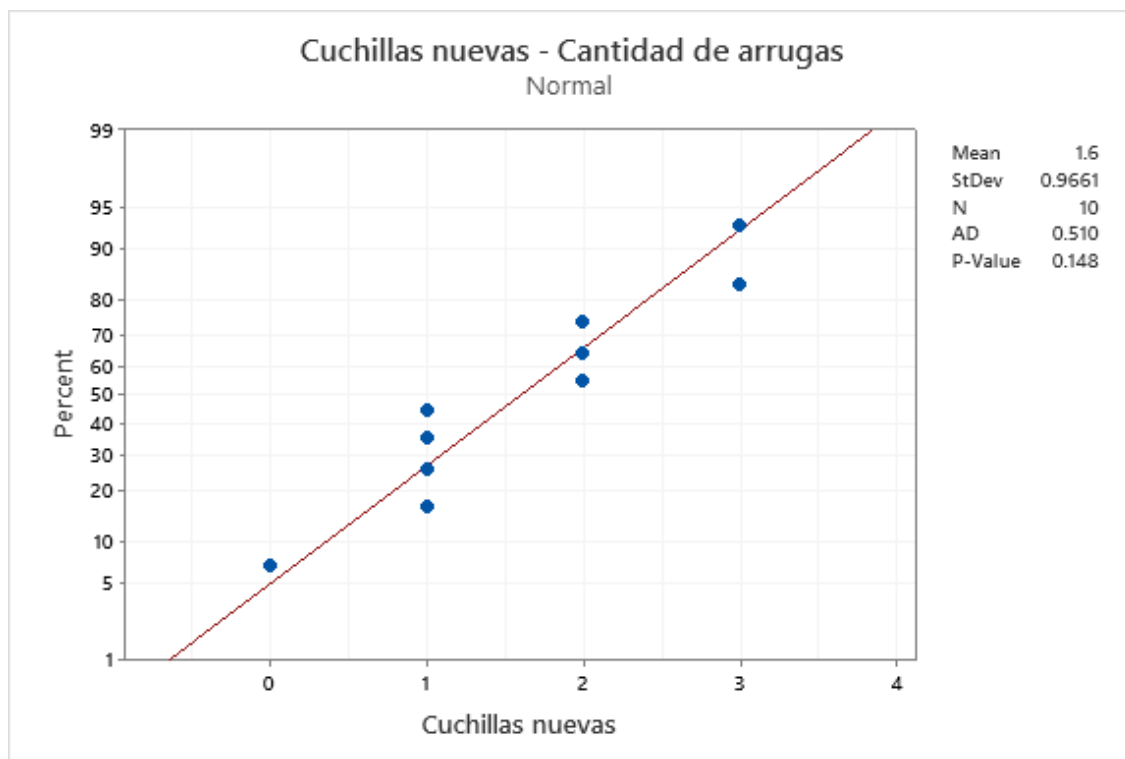
a) Normalidad de datos

Hipótesis nula (H_0): Los datos de muestra se ajustan a una distribución normal.

Hipótesis alternativa (H_1): Los datos no se ajustan a una distribución normal.

De acuerdo con los datos de las muestras del uso de cuchillas nuevas mostrados en la Tabla 40 y, analizada la posible normalidad de los datos, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de normalidad. El valor P-Value indicado en la Figura 65 es de 0.148, lo cual es mayor a 0.0; por tanto, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de la muestra se ajustan a una distribución normal.

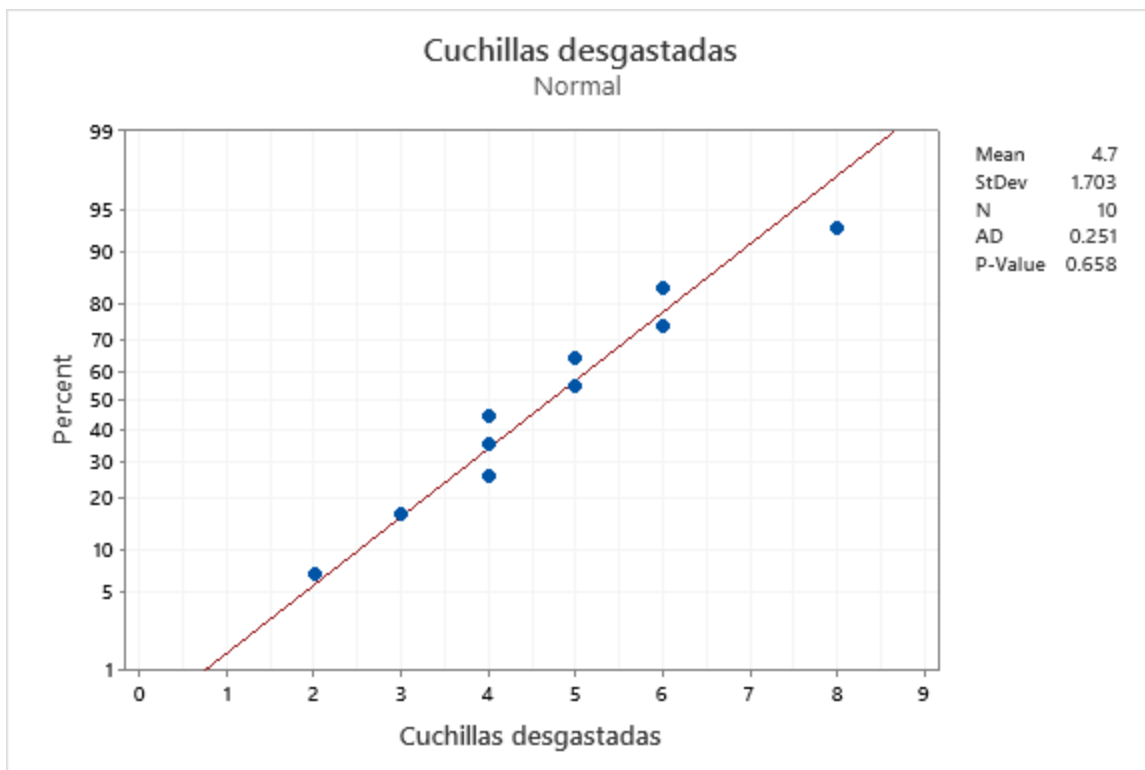
Figura 65 Prueba de normalidad de muestras con corte con cuchillas nuevas



Nota: David Barrios Delgado.

Con base en los datos de las muestras del uso de cuchillas desgastadas mostrados en la Tabla 40 y, analizada la posible normalidad de los datos, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de normalidad. El valor P-Value indicado en la Figura 66 es de 0.658, lo cual es mayor a 0.05; por lo tanto, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de la muestra se ajustan a una distribución normal.

Figura 66 Prueba de normalidad de muestras con corte con cuchillas desgastadas



Nota: David Barrios Delgado.

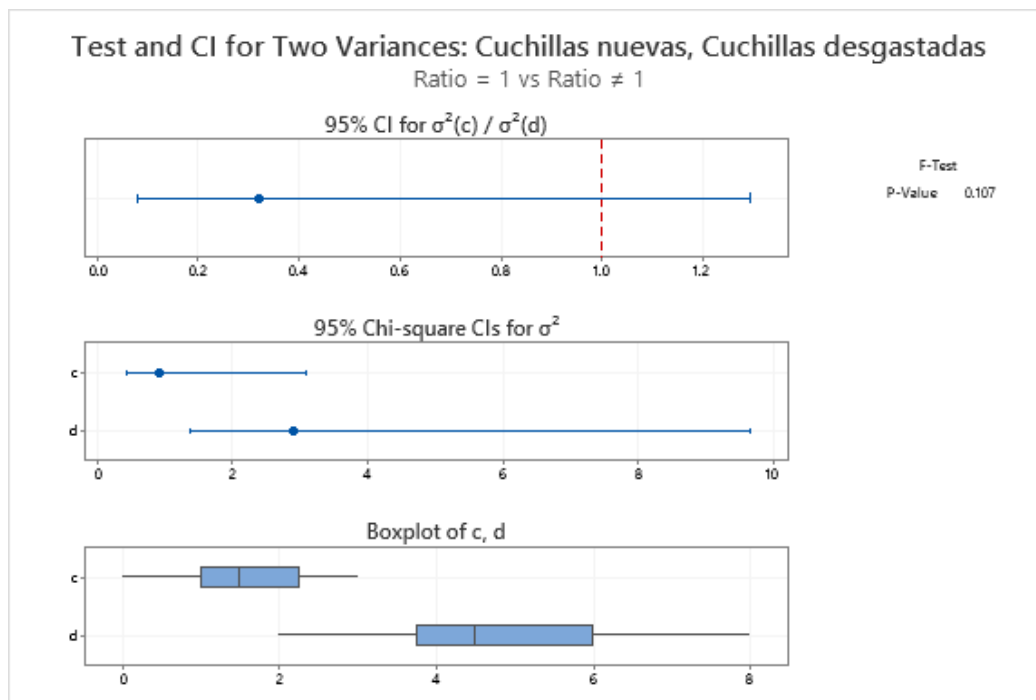
b) Homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula (H_0): (Varianza muestras cuchillas nuevas/Varianza muestras cuchillas desgastadas) = 1.

Hipótesis alternativa (H_1): (Varianza muestras cuchillas nuevas/Varianza muestras cuchillas desgastadas) \neq 1.

De acuerdo con los datos de las muestras de las pruebas con cuchillas nuevas y desgastadas mostrados en la Tabla 40, y analizada la posible homogeneidad de varianzas, con un 95% de confianza, se determina que los datos sí cumplen con el principio de homogeneidad de varianzas. El valor P-Value indicado en la Figura 67 es de 0.107, lo cual es mayor a 0.05; por ende, no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula que los datos de las muestras se ajustan a datos con varianzas homogéneas.

Figura 67 Prueba de homogeneidad de varianzas – Condición de la cuchilla de corte de capa



Nota: David Barrios Delgado.

Conociendo resultados de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas llevados a cabo a las muestras de cortes con cuchillas nuevas y desgastadas, se procede a realizar la prueba t student para ambas muestras. Es requerido para identificar si la diferencia de las medias de ambas muestras es estadísticamente diferente, comprobando que estadísticamente la media de las muestras de las pruebas con cuchillas nuevas difiere de la media de las muestras de las pruebas con cuchillas desgastadas.

Hipótesis nula (H_0): (Media de muestra cuchillas nuevas/Media de muestra cuchillas desgastadas) =1.

Hipótesis alternativa (H_1): (Media de muestra cuchillas nuevas/Media de muestra cuchillas desgastadas) \neq 1.

De acuerdo con los resultados obtenidos y detallados en la Figura 68, el valor P-Value da como resultado 0.000, lo cual es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula que indica que la

media de ambas muestras son iguales. Por contraparte, con un 95% de confianza, se acepta la hipótesis alternativa que indica que existen diferencias significativas entre ambas muestras.

Figura 68 Resultado del P-Value de la prueba t student – Condición de la cuchilla de corte de capa

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
c	10	1.600	0.966	0.31
d	10	4.70	1.70	0.54

Estimation for Difference

Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference
-3.100	1.384	(-4.401, -1.799)

Test

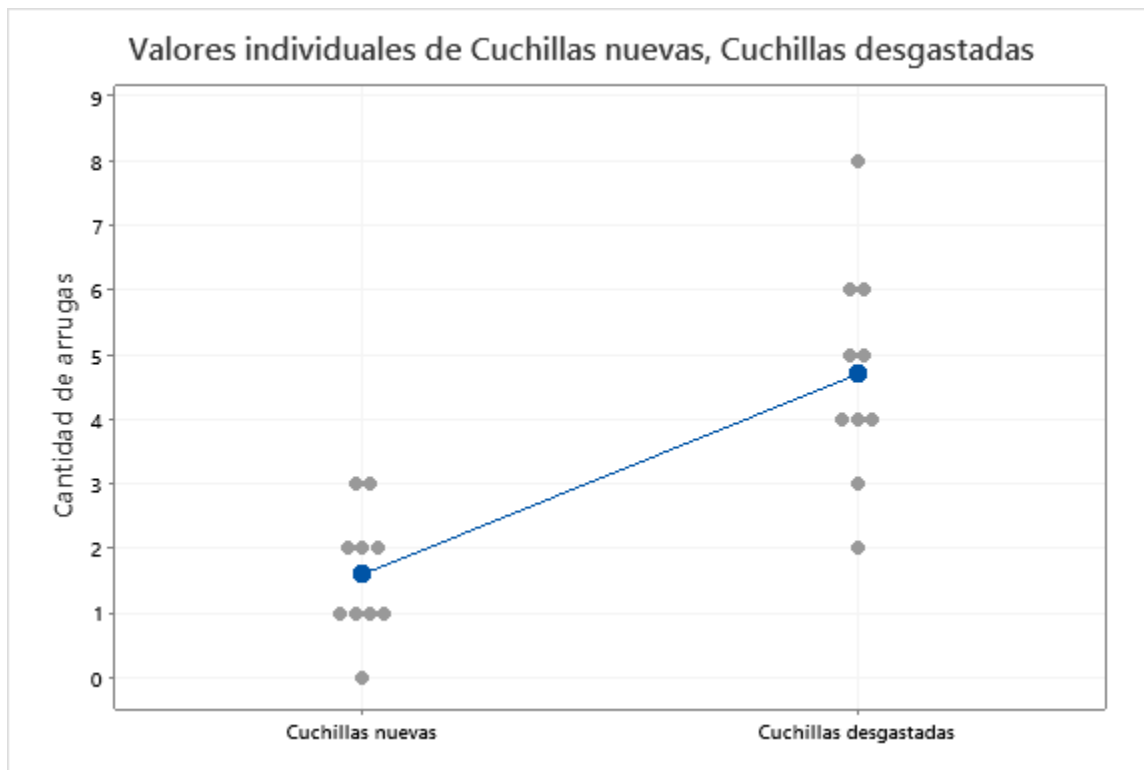
Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
-5.01	18	0.000

Nota: David Barrios Delgado.

La diferencia entre ambas muestras nos da como resultado que, estadísticamente, usar cuchillas nuevas en la máquina KB-13 genera hasta 2.94 veces menos arrugas que usando cuchillas desgastadas. La diferencia se visualiza en la Figura 53, donde se identifica que el uso de cuchillas nueva es la mejor opción para no generar arrugas.

Figura 69 Diferencia entre medias – Condición de la cuchilla de corte de capa



Nota: David Barrios Delgado.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de analizar la situación actual de la empresa respecto con el problema de estudio, a través de algunas herramientas de ingeniería industrial y estadística de procesos, se han determinado

algunas conclusiones significativas que sustentan la propuesta incluida en este proyecto. Asimismo, se enlistan algunas sugerencias de actividades que vienen a fundamentar la solución planteada en este documento.

Conclusiones

Las conclusiones del análisis de la situación actual se definen de acuerdo con los objetivos planteados. En la Tabla 41 se detallan las conclusiones.

Tabla 41 Conclusiones

Objetivo	Conclusión
Describir el proceso de producción de armado de llantas	El proceso productivo inicia con el mezclado de hule en el Departamento de Banbury. Este hule es enviado al área de preparación de materiales, compuesto por los departamentos de Calandra, Cortadoras, Steelastic, Tubuladoras y Aros; los cuales procesan sus respectivos materiales. Todos los materiales del área de preparación de materiales convergen en el Departamento de Armado, donde se arma la llanta. Luego de armada la llanta, es enviada a un proceso de vulcanización, para finalmente ser revisada en el Departamento de Inspección Final. (Ver Figura 9).
Determinar el porcentaje de utilización de la capacidad de producción	De acuerdo con el análisis de los tiempos no operativos del grupo de máquinas KB, éstas operan a una utilización de 72,18%. Es decir, cada máquina tiene en promedio 27,82% de tiempos no operativos causados por paradas de máquina. La capacidad de las máquinas KB es de 375 llantas por máquina.
Identificar las causas que inciden en el incumplimiento del requerimiento de producción	De acuerdo con el análisis de demoras en el tiempo de ciclo de producción, el ciclo actual cuenta con una oportunidad de mejora de cuatro segundos. Con respecto a los tiempos no operativos del grupo de máquinas KB, las principales causas que repercuten en paradas de máquinas corresponden a las categorías de material defectuoso, fallas mecánicas y fallas eléctricas; las cuales son lideradas, respectivamente, por arrugas en el material capa estabilizadora, fallas mecánicas en el sistema de capa estabilizadora y fallas eléctricas en el sistema de capa estabilizadora.

Objetivo	Conclusión
Definir una propuesta de rediseño para cumplir con la meta propuesta	El tiempo de ciclo de producción de armado de llantas y los KPIV's críticos identificados en el capítulo IV, como lo son arrugas en el material capa estabilizadora, fallas mecánicas en el sistema de capa estabilizadora y fallas eléctricas en el sistema de capa estabilizadora, representan el enfoque de mejora, y sobre éstos se plantearán soluciones para su desarrollo, con el fin de reducirlas o eliminarlas.
Desarrollar propuestas de control de las mejoras planteadas	Para cada propuesta de mejora será necesario diseñar controles para asegurar que la mejora se mantenga en el tiempo. En el capítulo VI se establecen las acciones de mejora necesarias para controlar la eficiencia de los procesos.
Rediseñar el proceso de producción de armado de llantas del Departamento de Armado para cumplir con el requerimiento de producción en la empresa Bridgestone de Costa Rica	El grupo de máquinas KB requiere mejora, en cuanto a su nivel de producción para poder cumplir con los requerimientos de producción. Planteadas las mejoras se propondrá el plan de trabajo para el logro del rediseño del proceso de producción de armado de llantas del Departamento de Armado.

Nota: David Barrios Delgado.

Recomendaciones

Con el fin de direccionar la intención de las acciones que se sugieren realizar, según las conclusiones definidas, se plantean las recomendaciones en la Tabla 42.

Tabla 42 Recomendaciones

Objetivo	Unidades de análisis	Conclusión	Recomendación
Identificar las causas que inciden en el cumplimiento del requerimiento de producción	Causas de problemas	De acuerdo con el análisis de sub-causas de los tiempos no operativos del grupo de máquinas KB, las principales causas que repercuten en paradas de máquinas corresponden a las categorías de material defectuoso, fallas mecánicas y fallas eléctricas; las cuales son lideradas respectivamente por arrugas en el material capa estabilizadora, fallas mecánicas en el sistema de capa estabilizadora y fallas eléctricas en el sistema de capa estabilizadora.	Se recomienda que el análisis de causas del problema sea realizado cada tres meses, con el fin de evaluar a tiempo cambios en el tipo de tiempo no operativo propios de cada máquina.
Definir una propuesta de rediseño para cumplir con la meta propuesta	Propuesta de rediseño	Los principales KPIV's fueron identificados en el capítulo 4, y son arrugas en el material capa estabilizadora, fallas mecánicas en el sistema de capa estabilizadora y fallas eléctricas en el sistema de capa estabilizadora. Sobre éstos KPIV's se plantearán mejoras para su desarrollo con el fin de reducirlas o eliminarlas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se recomienda que la alta gerencia gire el comunicado de apoyo a las mejoras implementadas, con el fin de generar sinergia entre todo el equipo de manufactura y todos puedan colaborar al éxito del proyecto. 2. Como parte de la importancia de la mejora continua de los procesos, se recomienda expandir el análisis tratado en los otros grupos de máquinas que, si bien no tienen problemas de capacidad, se podría aumentar más de modo que puedan trabajar con menor tiempo disponible requerido.

Objetivo	Unidades de análisis	Conclusión	Recomendación
Desarrollar propuestas de control de mejoras planteadas	de las Propuestas de control	Para cada propuesta de mejora será necesario diseñar controles para asegurar que la mejora se mantenga en el tiempo.	<p>1. Las medidas de monitoreo de las mejoras implementadas deben orientarse no sólo a la auditoría de ellas, sino también como instrumento para la toma de decisiones y generación de planes de acción para corregir incongruencias.</p> <p>2. Se recomienda que se le circule de forma semanal a la alta gerencia los resultados de los monitoreos realizados en cada semana, con el fin de evaluar el cumplimiento de las mejoras realizadas.</p>

Nota: David Barrios Delgado.

CAPÍTULO VI PROPUESTA

El aspecto más importante de la propuesta de solución es identificar y comprender el problema que se busca resolver. El Departamento de Armado requiere cumplir con un requerimiento de producción de llantas en ascenso a través de los meses. El grupo de máquinas KB, únicas capaces de producir llantas de tipo aro 18, posee una tendencia de incumplimiento del requerimiento de producción (ver Tabla 6). Este grupo de máquinas opera con tiempos no operativos del 27,82% y, adquiere fundamental relevancia reducir ese indicador, con el fin de maximizar la eficiencia operativa y producir las llantas necesarias para cumplir el requerimiento de producción, así como los objetivos corporativos de producción. (Ver Tabla 13).

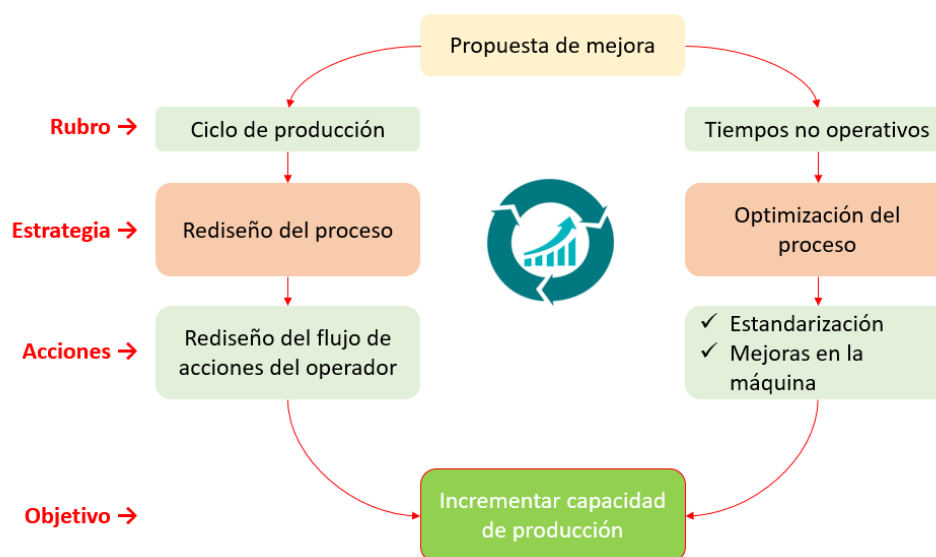
Propuesta

La propuesta de solución se basa en el rediseño del flujo actual de producción de la llanta, y en la mejora de los KPIV's críticos detallados en la Tabla 32, sobre los cuales se realiza el planteo de soluciones para reducirlos o eliminarlos, con base en el análisis de cada causa raíz detallado en el capítulo IV, y así evaluar el impacto en la productividad de la máquina modelo KB-13.

En la

Figura 70 se visualiza la estrategia por seguir para el planteamiento de mejoras.

Figura 70 Estrategia para el planteamiento de mejoras



Nota: David Barrios Delgado.

Mejoras en demoras sobre el ciclo de producción

El ciclo de producción de una llanta en el grupo de máquinas KB es de 2,54 minutos por llanta. De acuerdo con el resultado de la realización del diagrama hombre-máquina de la situación actual mostrado en la

Figura 29, el proceso cuello botella corresponde al proceso de primera etapa de la máquina.

En esta parte del proceso suceden dos lapsos de inactividad, donde la máquina debe esperar a que el operador la atienda, debido a que se encuentra finalizado otros procesos. Cada segundo perdido del proceso cuello de botella es tiempo perdido del ciclo de producción de la llanta.

De acuerdo con el diagrama hombre-máquina de la situación actual mostrado en la

Figura 29, la situación de los dos lapsos de inactividad de la primera etapa de la máquina sucede cuando:

- Primer lapso de inactividad: el operador de la máquina: operador se encuentra colocando cejas en el cargador de la máquina.
- Segundo lapso de inactividad: operador se encuentra procesando aros en la aplicadora.

Con el objetivo de reducir la duración del ciclo de producción de armado de la llanta, se plantea eliminar los tiempos de inactividad de la primera etapa de la máquina, mediante el rediseño del flujo de producción actual.

El rediseño implica realizar cambios en la secuencia de acciones del operador de la máquina. En la Tabla 43 se indica los cambios propuestos.

Tabla 43 Cambios en la secuencia de acciones del operador

	Antes	Después
Acción del operador	Acción de primera etapa de máquina	Acción de primera etapa de máquina
Colocar cejas en el cargador	Aplicación de sellante	Stichado de telas
Procesar aros en aplicadora	Aplicación de paredes	Stichado de paredes

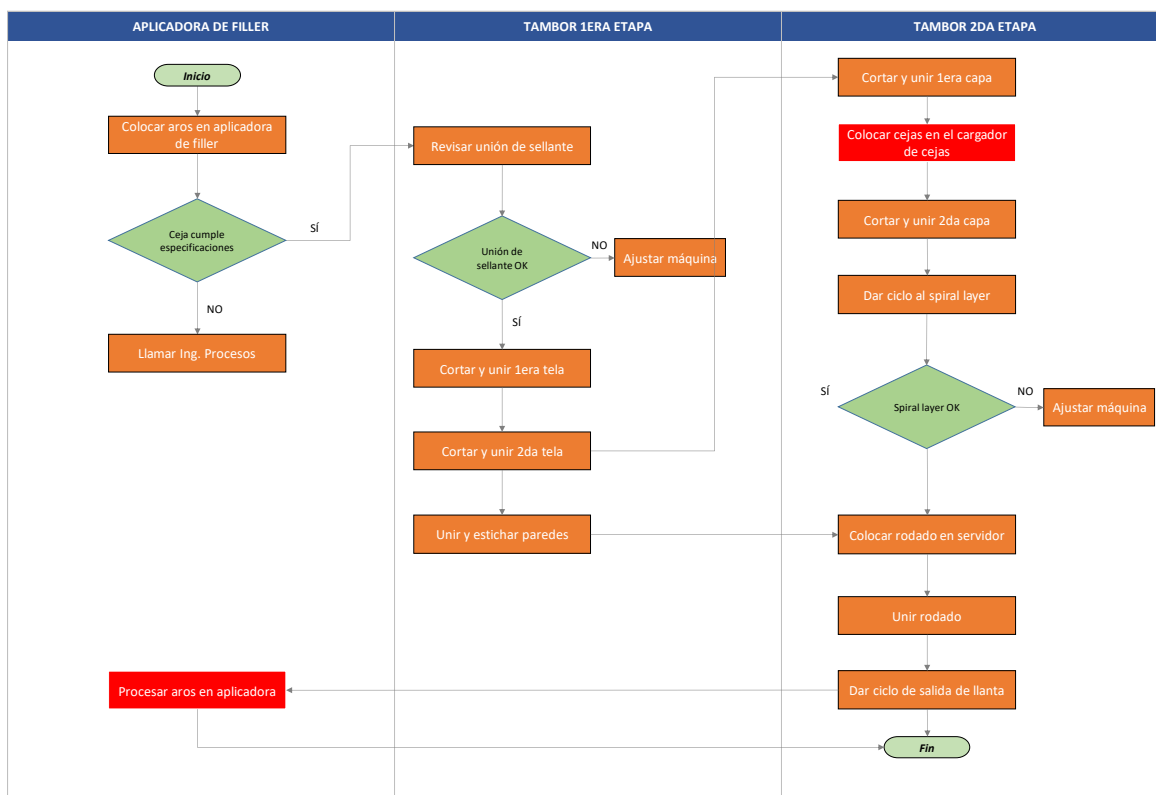
Nota: David Barrios Delgado.

Los cambios indicados en la Tabla 43 sugieren rediseñar la secuencia de acciones del operador, donde:

- Colocar cejas en el cargador: Este proceso tiene una duración de 6 segundos. Pasa a realizarse en el momento en que la primera etapa de la máquina está realizando el proceso de stichado de telas, proceso en el cual, en la situación anterior era un proceso de inactividad del operador de igual duración de seis segundos.
- Procesar aros en aplicadora: Este proceso tiene una duración de ocho segundos. Pasa a realizarse en el momento en que la primera etapa de la máquina está realizando el proceso de stichado de paredes, proceso en el cual, en la situación anterior era un proceso de inactividad del operador de treinta y dos segundos de duración, el cual ahora será un proceso de inactividad de veinticuatro segundos.

En la Figura 71 se muestra el cambio en el diagrama de flujo de intervenciones del operador en la máquina KB. En los rectángulos rojos se identifica las operaciones que tuvieron cambio en la secuencia de operaciones.

Figura 71 Diagrama de flujo propuesto de intervenciones del operador en la máquina KB



Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los cambios en la secuencia visualizados en la Figura 71, se elimina el tiempo inactivo del proceso cuello de botella de la primera etapa. El tiempo inactivo en la primera etapa pasa de 4 segundos a 0 segundos, tal y como se muestra en la Tabla 44.

Tabla 44 Tiempo productivo vs inactivo del diagrama hombre-máquina

	Hombre	Máquina	
		1ra etapa	2da etapa
Tiempo productivo	106,40	148,40	60,40
Tiempo inactivo	46,00	-	92,00

Nota: David Barrios Delgado.

En la Figura 72 se detalla el diagrama hombre-máquina propuesto del ciclo de producción de llantas. En recuadro verde se detalla los cambios realizados en el ciclo de producción.

El rediseño mencionado se agrega al instructivo de trabajo IT-700-255, en el cual se basa el Departamento de Entrenamiento para capacitar a los actuales y nuevos operadores de máquinas.

Figura 72 Diagrama hombre-máquina propuesto del ciclo de producción de llanta máquina KB

BRIDGESTONE			
Diagrama hombre-máquina PROPUESTA			
Máquina KB-13			
t (s)	OPERADOR	TAMBOR 1RA ETAPA	TAMBOR 2DA ETAPA
1	Colocar aros en aplicadora de filler	Aplicación de sellante	Inactividad
3			
5			
7	Inactividad		
9			
11			
13	Revisar unión de sellante	Aplicación de 1ra tela	
15			
17			
19	Cortar y unir 1ra tela	Aplicación de 2da tela	
21			
23			
25	Cortar y unir 2da tela	Aplicación de 1ra capa	
27			
29			
31	Cortar y unir 1ra capa	Aplicación de 2da capa	
33			
35			
37	Colocar cejas en el cargador	Stichado de telas	
39			
41			
43	Cortar y unir 2da capa	Ciclo de spiral layer	
45			
47			
49	Dar ciclo de spiral layer	Aplicación de paredes	
51			
53			
55	Inactividad	Ciclo de spiral layer	
57			
59			
61	Unir y stichar paredes	Ciclo de spiral layer	
63			
65			
67	Inactividad	Ciclo de spiral layer	
69			
71			
73	Dar ciclo de salida de llanta	Ciclo de spiral layer	
75			
77			
79	Inactividad	Ciclo de spiral layer	
81			
83			
85	Colocar rodado en servidor	Ciclo de spiral layer	
87			
89			
91	Unir rodado	Ciclo de spiral layer	
93			
95			
97	Dar ciclo de salida de llanta	Ciclo de spiral layer	
99			
101			
103	Procesar aros en aplicadora	Stichado de paredes	
105			
107			
109	Inactividad	Stichado de paredes	
111			
113			
115	Inactividad	Stichado de paredes	
117			
119			
121	Inactividad	Stichado de paredes	
123			
125			
127	Inactividad	Stichado de paredes	
129			
131			
133	Inactividad	Stichado de paredes	
135			
137			
139	Inactividad	Stichado de paredes	
141			
143			
145	Inactividad	Stichado de paredes	
147			
149			
		Salida de llanta	

Nota: David Barrios Delgado.

Mejoras en tiempos no operativos (KPIV's críticos)

Basado en el resultado de los análisis de las pruebas de los KPIV's críticos detallados en el capítulo IV se muestra, en la Figura 73, la estrategia a seguir para cada KPIV.

Figura 73 Estrategia de propuesta de mejoras para KPIV's críticos

KPIV	Detalle KPIV	Prueba estadística	Resultado	Estrategia
KPIV#1	Tensión en linner	Prueba t-student 2 muestras	Tensión idónea → 104N	Estandarización
KPIV#2	Freno del transporte	Prueba t-student 2 muestras	Presión idónea → 30 PSI	Estandarización
KPIV#3	Tipo de linner	Prueba t-student 2 muestras	Linner idóneo → Nuevo	Estandarización
KPIV#4	Giro y condición de rodillos	Prueba 1 proporción	Situación idónea → Evitar arrugas antes del paso por rodillos de máquina KB-13	Sensores de detección de arrugas en la capa
KPIV#5	Condición de la cuchilla de corte de capa	Prueba t-student 2 muestras	Cuchillas idóneas → Nuevas	Estandarización

Nota: David Barrios Delgado.

Mejora KPIV#1 – Tensión en linner.

A partir del análisis del KPIV referente a la tensión en linner, la tensión apropiada en el linner para generar menos arrugas en la capa estabilizadora es de 104N. Actualmente, la máquina ST-4 opera con una tensión en el linner de 4N. El resultado anterior se visualiza en la Figura 47.

La tensión de 104N se ajustó en el panel de control de la máquina ST-4. El cambio se visualiza en la Figura 74.

Figura 74 Modificación de tensión en linner en máquina ST-4



Nota: David Barrios Delgado.

La actualización en la tensión en el linner trae consigo los siguientes cambios:

- El ajuste de la tensión no podrá ser cambiado por el operador de la máquina. Para ello, el sistema en el panel de control no tendrá habilitado opciones para cambiar el dato.
- Los únicos habilitados para realizar cambios en la tensión del linner son los ingenieros de procesos (encargados de velar por la calidad de los materiales) y los mecánicos de mantenimiento. Si estos últimos deben ajustar la tensión, deberán tener autorización del Departamento de Ingeniería de Procesos.
- Si el operador de la máquina considera que se debe ajustar la tensión para mitigar algún problema de calidad que se le esté presentando, deberá llamar al ingeniero de proceso en turno para analizar la causa raíz del problema.

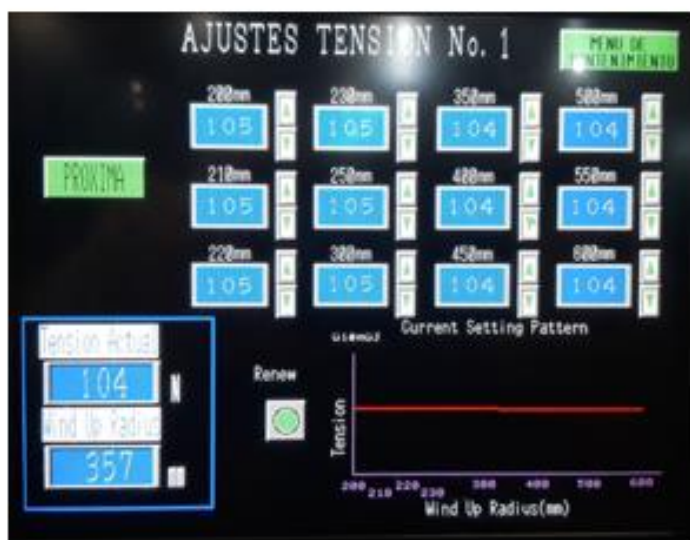
Con el fin de familiarizar a los operadores de máquina con la directriz de uso de la tensión en el linner establecida, se crea la ayuda visual mostrada en la Figura 75.

Figura 75 Ayuda visual para el ajuste de tensión en linner en la máquina ST-4

TENSIÓN EN EL LINER EN LA MÁQUINA ST-4

TENSIÓN DEBE ESTAR EN 104N

ANTE DUDAS LLAME AL INGENIERO DE PROCESOS



BRIDGESTONE

Ayuda Visual AV-900-23-105-01
 Revisión 0 Fecha de Emisión: 30/06/2021
 Fecha de Revisión: 30/06/2021
 Dept Emisor: Ing. Industrial
 Autor: David Barrios Delgado

Nota: David Barrios Delgado.

Mejora KPIV#2 – Presión de freno del transporte.

De acuerdo con el análisis del KPIV referente a la presión del freno del transporte, la presión apropiada para generar menos arrugas en la capa estabilizadora es de 30 PSI. Actualmente, la máquina ST-4 opera con una presión en freno de 40 PSI. El resultado anterior se visualiza en la Figura 53.

La presión de freno de 30 PSI se ajustó en el panel de control de la máquina ST-4. El cambio se visualiza en la Figura 76.

Figura 76 Modificación de presión de freno del transporte en máquina ST-4



Nota: David Barrios Delgado.

La actualización en la presión del freno del transporte trae consigo los siguientes cambios:

- El ajuste de la presión no podrá ser cambiado por el operador de la máquina. Para ello, el sistema en el panel de control no tendrá habilitado opciones para cambiar el dato.

- Los únicos habilitados para realizar cambios en la presión del freno son los ingenieros de procesos (encargados de velar por la calidad de los materiales) y los mecánicos de mantenimiento. Si éstos últimos deben ajustar la tensión, deberán tener autorización del departamento de Ingeniería de Procesos.
- Si el operador de la máquina considera que se debe ajustar la presión para mitigar algún problema de calidad que se le esté presentando, deberá llamar al ingeniero de proceso en turno para analizar la causa raíz del problema.

Con el fin de familiarizar a los operadores de máquina con la directriz de uso de la presión de freno del transporte establecida, se crea la ayuda visual mostrada en la Figura 77.

Figura 77 Ayuda visual para el ajuste de la presión de freno del transporte en la máquina ST-

PRESIÓN DE FRENO DEL TRANSPORTE EN LA MÁQUINA ST-4

PRESIÓN DEBE ESTAR EN 30 PSI

ANTE DUDAS LLAME AL INGENIERO DE PROCESOS



BRIDGESTONE

Ayuda Visual AV-900-24-106-01
Revisión 0 Fecha de Emisión: 30/06/2021
Fecha de Revisión: 30/06/2021
Dept Emisor: Ing. Industrial
Autor : David Barrios Delgado

Nota: David Barrios Delgado.

Mejora KPIV#3 – Tipo de linner.

De acuerdo con el análisis del KPIV referente al tipo de linner, el tipo apropiado para generar menos arrugas en la capa estabilizadora es el linner nuevo (menor a 6 años de uso). El resultado anterior se visualiza en la

Figura 59.

Actualmente las máquinas del departamento de Steelastic operan con linner aleatorio, es decir, trabajan con el que tengan a su disposición en el momento de producir. El departamento de Tubuladoras produce el material paredes, y se enrollan con linner, al igual que las capas estabilizadoras del departamento de Steelastic.

Tal y como se visualiza en la Tabla 45, el inventario de linner actual es de 376 unidades, de los cuales, un 62% es linner viejo y un 38% es linner nuevo. Todo el inventario de linner está numerado, y los que pertenecen a la categoría nuevo se identifican en sus puntas con la leyenda: “Nuevo”. Posterior a cumplir un uso igual o mayor a 6 años se les retira la leyenda mencionada. Este trabajo es realizado por el área de reparación de linner.

Tabla 45 Inventario de linner

	Linner viejo	Linner nuevo	Total
Cantidad	233	143	376
%	62%	38%	100%

Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los niveles de producción del departamento de Steelastic, el requerimiento de linner diario es de 147 unidades. En contraparte, el requerimiento de linner del departamento de Tubuladoras es de 205 unidades. Las restantes 24 unidades obedecen a linner que circula en el proceso para cubrir eventos de sobreproducción, de los cuales 16 unidades se destinan al departamento de Tubuladoras y 8 unidades al departamento de Steelastic. El detalle de la cantidad de linner requerido por cada máquina del departamento de Steelastic se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46 Requerimiento de linner por máquina en el departamento de Steelatic

	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	TOTAL
Cantidad	62	24	51	10	147
%	42%	16%	35%	7%	100%

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se puede ver en la Tabla 45 y Tabla 46, el inventario existente de linner nuevo (143 unidades) es menor que el requerido por todo el Departamento de Steelastic (147 unidades). Sin embargo, para la máquina en análisis ST-4 se puede implementar el uso único de linner nuevo. Se creó una ayuda visual y se estableció el uso de único de linner nuevo en la máquina ST-4. El linner es llevado a las máquinas del Departamento de Steelastic por un auxiliar de materiales, por lo que estos fueron entrenados para sólo llevar linner nuevo a la máquina ST-4. De igual forma, los operadores de máquina tendrán el compromiso de verificar la leyenda: “Nuevo” en las puntas de cada linner, con el fin de asegurar usar sólo del tipo establecido. La ayuda visual se muestra en la Figura 78.

Figura 78 Ayuda visual para el uso de linner nuevo en la máquina ST-4

USO DE LINNER EN LA MÁQUINA ST-4

SÓLO SE PERMITE LINNER NUEVO

NO SE DEBE USAR LINNER VIEJO

VERIFIQUE LA LEYENDA: "NUEVO" EN LAS PUNTAS DE CADA LINNER



BRIDGESTONE

Ayuda Visual AV-900-22-104-01
Revisión 0 Fecha de Emisión: 30/06/2021
Fecha de Revisión: 30/06/2021
Dept Emisor: Ing. Industrial
Autor : David Barrios Delgado

Nota: David Barrios Delgado.

Mejora KPIV#4 – Giro y condición de los rodillos.

Con base en el análisis del KPIV referente al giro y condición de los rodillos, se determinó que, según los resultados de la evaluación detallada en la

Tabla 38, que el giro y la condición de los rodillos no generan arrugas en la capa estabilizadora al frenar. Por el contrario, según el resultado mostrado en la Figura 63, se evidenció que cuando la capa estabilizadora presenta arrugas provenientes del Departamento de Steelastic, las mismas se agravan, causando que las arrugas se agraven y se enreden en los rodillos, repercutiendo en paradas de máquina que a su vez generan baja productividad y desperdicio de material.

La Figura 79 muestra los puntos de inicio del recorrido de la capa estabilizadora en los rodillos de la máquina KB-13.

Figura 79 Puntos de inicio de recorrido de la capa estabilizadora en la máquina KB-13



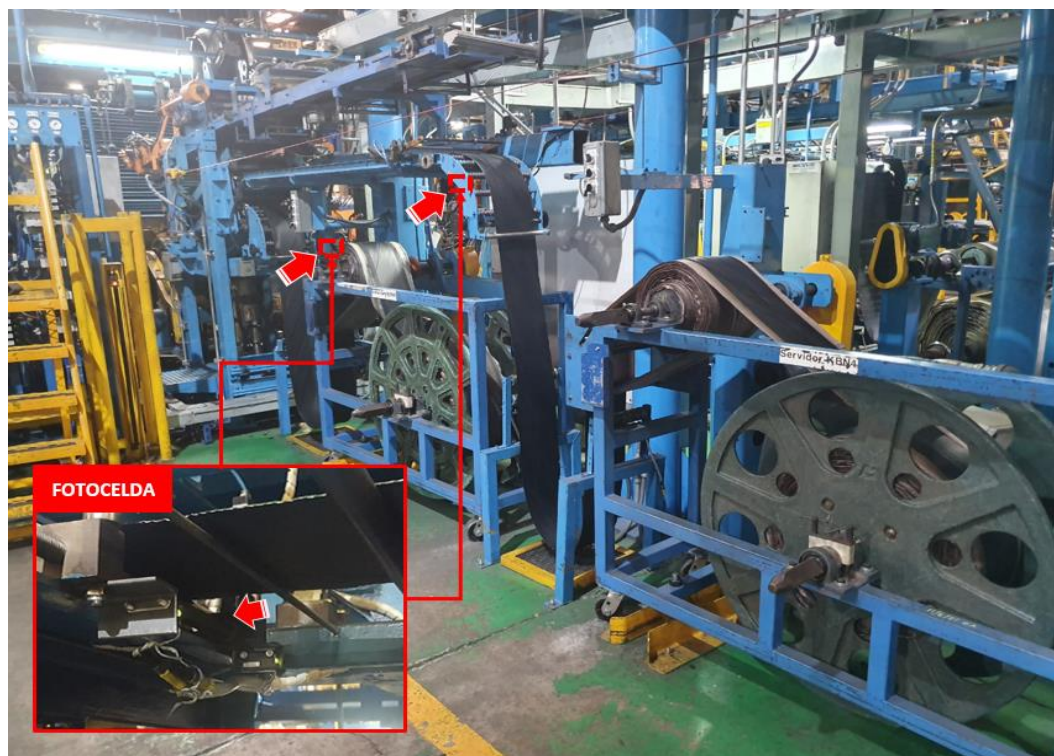
Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con la conclusión de la prueba de hipótesis de 1 proporción mostrada en la Figura 63, cuando la capa estabilizadora presenta arrugas, estas se agravan, causando una potencial parada de máquina y desperdicio de material.

Para evitar el paso de capa arrugada hacia los rodillos de la máquina, se instaló una fotocelda de detección de arrugas. La idea es que la fotocelda detenga el recorrido de la capa estabilizadora al detectar una arruga, y con esto alertar al operador de la máquina para venir a la zona de la fotocelda y desechar la parte de la capa defectuosa. El beneficio radica en que se evita que la capa arrugada llegue a los rodillos y con esto empeore y tener que detener la máquina para desechar más material. Con el trabajo de la fotocelda, el operador puede venir a descartar la capa afectada identificada por la fotocelda sin detener la máquina.

La Figura 80 detalla la ubicación de la instalación de la fotocelda para ambas carruchas.

Figura 80 Instalación de fotocelda de detección de arrugas en la capa estabilizadora



Nota: David Barrios Delgado.

Mejora KPIV#5 – Condición de la cuchilla de corte de capa.

De acuerdo con el análisis del KPIV referente a la condición de la cuchilla de corte de capa, el tipo apropiado para generar menos arrugas en la capa estabilizadora es el uso de cuchillas nuevas (menor a 1.5 meses de uso). El resultado anterior se visualiza en la Figura 69.

Cabe destacar que, de acuerdo con los resultados de la prueba detallada en la Tabla 40, el 100% de las arrugas generadas usando cuchillas nuevas no supera 1 cm de longitud, por lo que cumplen la tolerancia especificada por el departamento Técnico.

En la Tabla 47 se muestra la cantidad de cambios de cuchillas realizados en cada máquina durante el año 2020.

Tabla 47 Tendencia de cambios de cuchillas en máquinas KB en el año 2020

Máquina	Cantidad de cambio de cuchillas realizados
KB-1	6
KB-2	5
KB-3	6
KB-4	5
KB-5	6
KB-6	4
KB-7	4
KB-8	8
KB-9	11
KB-10	4
KB-11	5
KB-12	8
KB-13	6

Nota: Bridgestone.

Tal y como se observa en la Tabla 47, la máquina KB-13 realizó seis cambios de cuchillas en el año 2020, lo que equivale a cambio de cuchillas cada dos meses. Por su parte, el promedio de cambios anuales de cuchillas en las máquinas KB es de también 6 cambios.

En la actualidad no existe un programa establecido para el cambio de cuchillas, los cambios son realizados en su mayor parte por solicitud de los operadores de las máquinas, quienes lo solicitan cuando a su criterio las mismas tienen desgaste.

Las máquinas KB se deben entregar un turno (doce horas) cada seis semanas a mantenimiento preventivo. En estos trabajos programados los mecánicos realizan tres trabajos primordiales, que se detallan en la matriz de puntos de evaluación de mantenimientos preventivos en el Departamento de Armado MT-800-22.

De acuerdo con la Figura 81, durante los mantenimientos preventivos, se realizan trabajos de tipo fijos y variables.

Figura 81 Puntos de evaluación en mantenimientos preventivos

- 1. Mantenimiento fijo.**
 - a. Ajuste y alineamiento de rodillos.
 - b. Verificación y ajuste de velocidad de portacejas.
 - c. Verificación y ajuste de rodillos de bandejas.
- 2. Mantenimiento variable (Verificar corrección de reportes de fallas).**
 - a. Verificación y corrección de fallas principales reportadas en sistema de tiempos no operativos.
- 3. Mantenimiento variable (Solicitud de mejoras indicadas por operadores de máquina).**
 - a. Revisión y corrección de puntos de mejora anotados por los operadores a lo largo de las 6 semanas entre cada mantenimiento preventivo.

Nota: Bridgestone.

La propuesta consiste en establecer que a cada máquina KB se le realice el cambio de cuchillas durante sus respectivos mantenimientos preventivos. Con esto, las máquinas siempre operarán de forma establecida y continua con cuchillas nuevas, con lo cual, cada máquina deberá tener 8 cambios anuales, es decir, su equivalente a cantidad de mantenimientos preventivos. La Tabla 48

muestra la cantidad de cambios anuales de cuchilla que se deberían realizar si durante cada mantenimiento preventivo se procede con el cambio de cuchillas mencionado.

Tabla 48 Propuesta - Tendencia de cambios de cuchillas en máquinas KB en el año 2020

Máquina	Cantidad de cambio de cuchillas propuesto
KB-1	8
KB-2	8
KB-3	8
KB-4	8
KB-5	8
KB-6	8
KB-7	8
KB-8	8
KB-9	8
KB-10	8
KB-11	8
KB-12	8
KB-13	8

Nota: David Barrios Delgado.

Se modifica el extracto de la matriz de puntos de evaluación de mantenimientos preventivos en el Departamento de Armado, y se incluye dentro del mantenimiento fijo el cambio de cuchillas de corte de capa viejas por cuchillas nuevas. De igual forma, se incluye como punto de evaluación la verificación y ajuste de fotocelda de detección de arrugas en la capa estabilizadora (KPIV#4). En la Figura 82 se muestra el cambio realizado resaltado en color amarillo.

Figura 82 Propuesta - Puntos de evaluación en mantenimientos preventivos

1. **Mantenimiento fijo.**
 - a. Ajuste y alineamiento de rodillos.
 - b. Verificación y ajuste de velocidad de portacejas.
 - c. Verificación y ajuste de rodillos de bandejas.
 - d. Cambio de cuchillas de corte de capa viejas por cuchillas nuevas.
 - e. Verificación y ajuste de fotocelda de detección de arrugas en la capa estabilizadora.
2. **Mantenimiento variable (Verificar corrección de reportes de fallas).**
 - a. Verificación y corrección de fallas principales reportadas en sistema de tiempos no operativos.
3. **Mantenimiento variable (Solicitud de mejoras indicadas por operadores de máquina).**
 - a. Revisión y corrección de puntos de mejora anotados por los operadores a lo largo de las 6 semanas entre cada mantenimiento preventivo.

Nota: David Barrios Delgado.

Evaluación de mejoras

Mejoras en el ciclo de producción.

De acuerdo con el resultado del diagrama de hombre-máquina propuesto mostrado en la Figura 72, el ciclo de producción de armado por llanta pasa de 2,54 minutos a 2,48 minutos, obteniéndose una ganancia de 4 segundos por llanta. En la Tabla 49 se detalla la ganancia de llantas por esta mejora.

Tabla 49 Dato de aumento de producción de llantas por reducción de tiempo de ciclo

Rubro	Cantidad	UM
Ganancia de segundos por llanta	4	seg/llanta
Producción promedio actual	361	llantas/día
Ganancia total de minutos por día	24,07	min/llanta
Ganancia de llantas KB-13	9	min/llanta

Nota: David Barrios Delgado.

Mejoras en tiempos no operativos.

Las mejoras planteadas se evaluaron para medir el impacto en el tiempo no operativo por capa arrugada en la máquina modelo KB-13.

Tal y como se mostró en la Tabla 18, las horas promedio de tiempo no operativo a causa de capa arrugada es de 10,79 horas por día en el grupo de máquinas KB, lo que equivale a 0,83 horas por día por cada máquina.

Con el fin de evaluar los resultados obtenidos tras la implementación de mejoras tanto en la ST-4 como en la máquina KB-13, se evaluaron los resultados de los tiempos no operativos de los últimos 90 y 30 días respectivamente, posteriores a la puesta en marcha de los cambios realizados.

En la Tabla 50 se detalla los datos de los tiempos no operativos por capa arrugada anteriores a los cambios realizados, y en la Tabla 51 los datos posteriores.

Tabla 50 Tiempos no operativos por capa arrugada en la máquina KB-13 (Antes)

#	hrs	#	hrs	#	hrs	#	hrs	#	hrs	#	hrs
#1	0,98	#16	0,91	#31	0,63	#46	0,90	#61	0,91	#76	1,06
#2	0,79	#17	0,90	#32	0,84	#47	0,86	#62	0,84	#77	0,97
#3	0,63	#18	0,78	#33	0,79	#48	0,34	#63	0,96	#78	0,33
#4	0,68	#19	1,36	#34	1,12	#49	0,63	#64	0,55	#79	1,46
#5	1,06	#20	1,20	#35	0,39	#50	0,32	#65	0,39	#80	0,87
#6	0,33	#21	1,42	#36	0,67	#51	0,85	#66	0,96	#81	1,33
#7	0,39	#22	0,33	#37	0,79	#52	0,96	#67	0,92	#82	0,78
#8	0,86	#23	1,06	#38	0,55	#53	0,92	#68	0,83	#83	0,89
#9	0,94	#24	0,90	#39	1,34	#54	0,33	#69	0,80	#84	0,39
#10	1,12	#25	0,87	#40	0,84	#55	0,87	#70	0,78	#85	0,42
#11	0,98	#26	0,83	#41	0,86	#56	0,80	#71	1,22	#86	1,43
#12	0,88	#27	1,20	#42	1,06	#57	0,83	#72	0,78	#87	0,55
#13	0,63	#28	0,93	#43	0,91	#58	0,95	#73	0,95	#88	0,93
#14	0,55	#29	1,20	#44	0,82	#59	0,45	#74	0,33	#89	0,95
#15	0,80	#30	0,63	#45	0,91	#60	0,97	#75	0,97	#90	0,88

Nota: David Barrios Delgado.

Tabla 51 Tiempos no operativos por capa arrugada en la máquina KB-13 (Después)

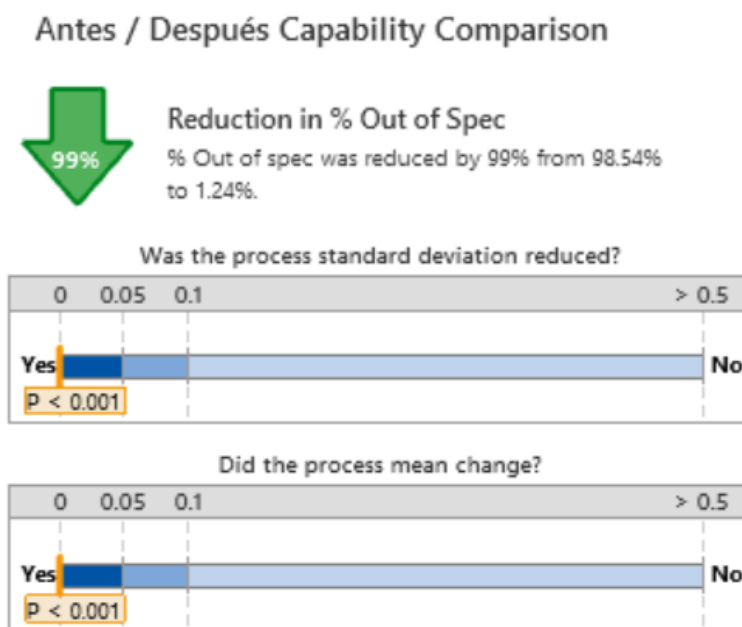
#	hrs	#	hrs
#1	0,51	#16	0,51
#2	0,49	#17	0,49
#3	0,46	#18	0,52
#4	0,48	#19	0,53
#5	0,51	#20	0,50
#6	0,49	#21	0,49
#7	0,49	#22	0,52
#8	0,51	#23	0,51
#9	0,48	#24	0,53
#10	0,48	#25	0,53
#11	0,49	#26	0,51
#12	0,49	#27	0,53
#13	0,48	#28	0,48
#14	0,48	#29	0,54
#15	0,47	#30	0,48

Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con los datos de los resultados posteriores a las mejoras realizadas, en promedio se reportó 0,50 horas por día de tiempos no operativos a causa de capa arrugada. Tal dato resulta en una disminución de 39,76%, pasando de 0,83 horas a 0,50 horas por día.

Partiendo del análisis del valor P-Value referente la media y desviación estándar mostrado en la Figura 83, ambos rubros muestran diferencias estadísticamente significativas, pues sus valores son menores a 0.05. Por lo cual, se concluye, con un 95% de confianza, que los tiempos no operativos, a causa de capa arrugada en la máquina KB-13, se redujeron significativamente luego de la implementación de las mejoras realizadas.

Figura 83 Análisis de Antes/Después de implementación de demoras en máquina KB-13



Nota: David Barrios Delgado.

La reducción en el tiempo no operativo de la máquina KB-13 favorece a que cuente con mayor tiempo disponible para producir más llantas y aumentar su capacidad de producción.

La reducción del tiempo no operativo por capa arrugada es del 39,76%; que equivale a 0,33 horas por día de ganancia de tiempo disponible para producir llantas. El ciclo estándar de producción por llanta en las máquinas KB es de 2,54 minutos.

En la Tabla 52 se detalla el cálculo de la ganancia en términos de llantas de la máquina KB-13 tras las mejoras realizadas.

Tabla 52 Dato de aumento de producción de llantas por reducción de NOT de capa arrugada

Rubro	Cantidad	UM
Material defectuoso	20,12	hrs/día
Capa defectuosa	13,18	hrs/día
Capa arrugada	10,79	hrs/día
Cantidad de KB	13	máquinas
Capa arrugada KB-13 - Antes	0,83	hrs/día
Reducción NOT	39,76%	%
Capa arrugada KB-13 - Después	0,50	hrs/día
Ciclo de producción de llanta	2,60	min/llanta
Ganancia de llantas KB-13	8	llantas/día

NOT=Tiempo no operativo

Nota: David Barrios Delgado.

De acuerdo con la Tabla 52, las mejoras realizadas representan una disminución del NOT de capa arrugada de 39,76%; que se traducen en 8 llantas adicionales por día en la máquina KB-13.

Impacto en producción.

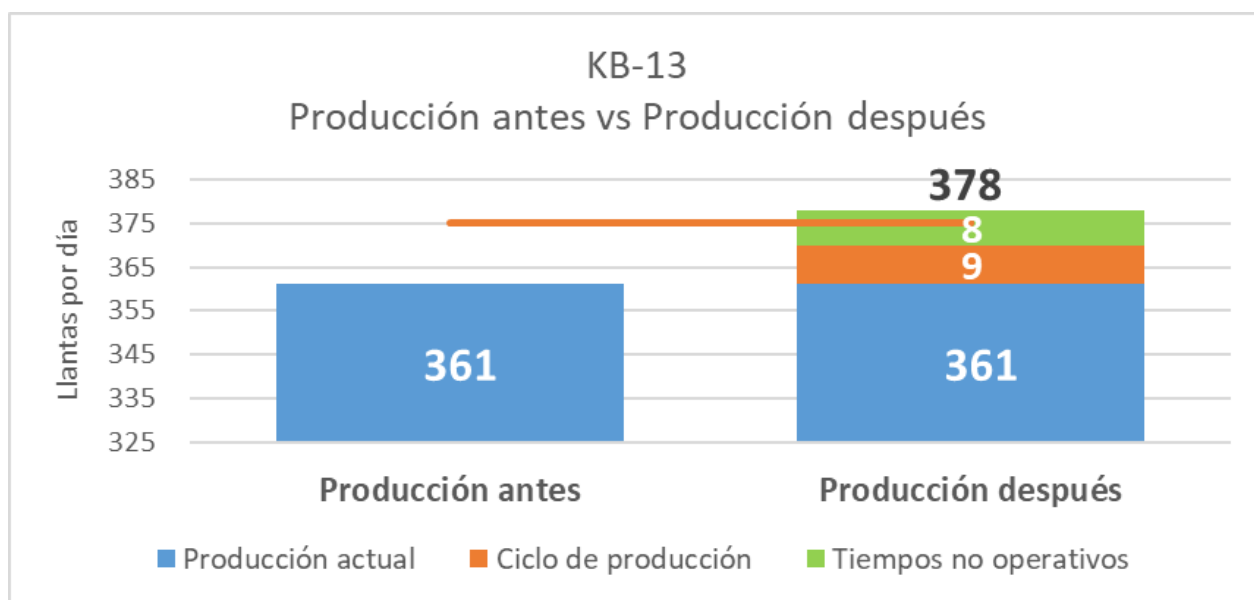
En resumen, de las mejoras realizadas, se obtienen los siguientes beneficios en términos de producción de llantas:

- Mejora en el ciclo de producción: nueve llantas adicionales por máquina por día.
- Mejora en tiempos no operativos: ocho llantas adicionales por máquina por día.

En la

Figura 84 se visualiza el incremento de producción resultante, al pasar de 361 llantas a 378 llantas por máquina por día.

Figura 84 Incremento de producción en KB-13 tras mejoras realizadas



Nota: David Barrios Delgado.

Control de mejoras implementadas

El control de la gestión del proyecto es una fase importante para el éxito del proyecto, pues el seguimiento de las mejoras realizadas permitirá que se mantengan en el tiempo.

Rediseño del proceso.

Para asegurar que el cambio en el flujo de acciones del operador establecido en el diagrama hombre-máquina mostrado en la Figura 72 siempre se realice a través del tiempo, se modifica el

instructivo de trabajo IT-700-255 Método de trabajo del operador de máquinas KB. En el instructivo, se agrega el diagrama de flujo establecido en la Figura 71 y el diagrama hombre-máquina indicado en la Figura 72. Cada operador nuevo de máquina KB es entrenado por el Departamento de Entrenamiento, basado en el instructivo de trabajo mencionado. El nuevo flujo de acciones queda establecido en el instructivo y publicado en el sistema de control documental SFD.

Optimización del proceso.

En la empresa existe un plan de monitoreos en cada área productiva, donde en cada uno hay diferentes estándares con diez ítems que se deben monitorear según indique el ítem, con el fin de controlar algún indicador de interés. Cada persona debe realizar tres monitoreos semanales de cualquier departamento, y en cada monitoreo se detalla lo que debe verificar y cómo debe realizarlo.

En la Figura 85 se detalla los estándares a nivel de área productiva, y sobre los cuales hay diferentes estándares compuestos de diez ítems a monitorear.

Figura 85 Lista de estándares de monitoreo

TODOS :: BIBLIOTECA PÚBLICA >> E estándares Entrenados (Públicos)


ATRIBUTOS DEL ESTÁNDAR

Código: Estado: Observación:
 Revisión: Nombre:
 Tipo: Dirección:
 Archivo:
 Departamento: Dirección:
 Video:
 Área: Dirección:
 OTRS:
 Máquina: Fecha:
 Creación:
 Usuario:
 Puesto: Creación:

Código: Nombre: Rev: Tipo: Estado: **Monitoreo**
 Dep.: Área: Máquina: Puesto:

LISTA DE ESTÁNDARES MONITOREADOS

#	Código	Nombre	Rev.	Tipo	Departamento	Área	Máquina
1	5S 112001	5S pigmentos	6	5S	Banbuys	Pigmentos	Pigmentos
2	5S 112002	5S en el BB#1	3	5S	Banbuys	Banbury1	Carga hule
3	5S 112003	5S Banbury #2	4	5S	Banbuys	Banbury2	Carga hule
4	5S 112004	5S en BB#3	3	5S	Banbuys	Banbury3	General
5	5S 112006	5S Banbury#2	1	5S	Banbuys	Banbury2	General
6	5S 112007	5S Banbury #1	1	5S	Banbuys	Banbury1	General
7	5S 112008	5S BB #3	2	5S	Banbuys	Banbury3	General
8	5S 122002	Monitoreo 5S Calandra 1	3	5S	Calandra	Calandras	Calandra 1
9	5S 122003	Monitoreo 5S Calandra 2	4	5S	Calandra	Calandras	Calandra 2
10	5S 122004	Monitoreo 5s Calandra 1	1	5S	Calandra	Calandras	Calandra 2
11	5S 123001	5S Cortadora1	2	5S	Cortadoras	Cortadoras	Cortadora 1
12	5S 123002	5S Cortadora 2	2	5S	Cortadoras	Cortadoras	Cortadora 2
13	5S 123003	5S Cortadora 4	1	5S	Cortadoras	Cortadoras	Cortadora 4
14	5S 123004	5S Slitters/Calemard	1	5S	Cortadoras	Slitters/Calemard	Slitters/Calemard
15	5S 123006	5S Cortadora C-Ply	2	5S	Cortadoras	Cortadoras	C-Ply
16	5S 123007	Monitoreo 5s Cortadora 4	1	5S	Cortadoras	Cortadoras	Cortadora 4
17	5S 123009	5S C-Ply	1	5S	Cortadoras	Cortadoras	C-Ply
18	5S 124001	5S Aros Materiales	1	5S	Extrusión	Aros	BPM'S/FSW
19	5S 124002	5S Aros - FSW	5	5S	Extrusión	Aros	BPM'S/FSW
20	5S 125001	5S en Área Común de Steelastic	1	5S	Steelastic	Steelastic	General

 SISTEMA REGIONAL E-OTRS

Nota: Bridgestone.

Como parte de las medidas de control, se añadieron ítems a los monitoreos, con el objetivo que las mejoras siempre estén vigentes. En la Figura 86 se detalla los ítems que serán monitoreados para cada mejora de cada KPIV crítico. Cada persona que deba realizar monitoreo de los ítems de cada KPIV crítico del proyecto, deberá realizarlo consultando según indique el ítem.

Figura 86 Ítems de monitoreo de mejoras implementadas

KPIV	Detalle KPIV	Mejora	Control de mejora
KPIV#1	Tensión en linner	Estandarización de tensión en linner en 104N	Monitoreo diario de tensión seteada. Ver ayuda visual creada AV-900-23
KPIV#2	Freno del transporte	Estandarización de presión de freno del transporte en 30 PSI	Monitoreo diario de presión seteada. Ver ayuda visual creada AV-900-24
KPIV#3	Tipo de linner	Estandarización de uso de linner nuevo	Monitoreo diario de tipo de linner usado. Ver ayuda visual creada AV-900-22
KPIV#4	Giro y condición de rodillos	Instalación de fotocelda de detección de arrugas en la capa	Monitoreo diario de funcionamiento de fotocelda de detección de arrugas. Verifique con mecánico de mantenimiento.
KPIV#5	Condición de la cuchilla de corte de capa	Estandarización de frecuencia de cambio de cuchillas viejas por nuevas	Monitoreo diario de verificación de fecha de instalación de cuchillas de corte de capa. Deben tener menos de 1.5 meses de uso

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se evidencia en la Figura 86, cada persona que deba monitorear los puntos de los KPIV's críticos deberá:

1. KPIV#1: Consultar ayuda visual AV-900-23 y verificar dato en la máquina.
2. KPIV#2: Consultar ayuda visual AV-900-24 y verificar dato en la máquina.
3. KPIV#3: Consultar ayuda visual AV-900-22 y verificar dato en la máquina.
4. KPIV#4: Consultar y verificar con mecánico de mantenimiento funcionamiento de fotocelda de detección de arrugas en la capa estabilizadora.
5. KPIV#5: Consultar en la hoja de chequeo de mantenimiento preventivo la fecha de cambio de cuchillas en uso.

Análisis Económico

Con el fin de evaluar la relación entre la inversión requerida para la puesta en marcha de las mejoras propuestas y los beneficios económicos de las mismas, se procede a realizar el análisis económico del proyecto.

Inversión requerida

Con respecto a la inversión requerida, y acorde con las mejoras propuestas, el análisis comprende los siguientes rubros:

1. Rediseño del flujo de acciones del operador: No requiere inversión. La capacitación a los operadores de las máquinas corresponde a trabajo del Departamento de Entrenamiento y se realiza en los turnos de trabajo de cada operador.
2. Estandarización de la tensión del linner: No requiere inversión. La capacitación a los operadores de las máquinas, ingenieros de procesos y mecánicos de mantenimiento corresponde a trabajo del Departamento de Entrenamiento y se realiza en los turnos de trabajo de cada operador, ingeniero y mecánico.
3. Estandarización de la presión del freno del transporte: No requiere inversión. La capacitación a los operadores de las máquinas, ingenieros de procesos y mecánicos de mantenimiento corresponde a trabajo del Departamento de Entrenamiento y se realiza en los turnos de trabajo de cada operador, ingeniero y mecánico.
4. Estandarización en el uso de linner nuevo: Requiere inversión. De acuerdo con los datos del inventario de linner nuevo indicado en la Tabla 45 y el requerimiento de linner en el Departamento de Steelastic indicado en la Tabla 46, para poder abarcar las cuatro máquinas del departamento para la estandarización en el uso de linner nuevo se requieren doce unidades de linner adicionales (cuatro unidades faltantes y ocho unidades correspondientes de respaldo por eventos de sobreproducción). Cada unidad de linner nuevo tiene un costo de ¢158.500,00. Por lo tanto, la compra de las doce unidades de linner nuevo requeridas tiene un costo de ¢1.902.000,00.
5. Instalación de sensores de detección de arrugas de capa: Requiere inversión. De acuerdo con datos del costo brindados por el Departamento de Mantenimiento, la instalación de los sensores necesita una inversión de ¢276.650,00 por cada máquina. Por lo tanto, tomando en cuenta que son 13 máquinas KB, el costo total es de ¢3.596.450,00. La instalación se realizaría durante los mantenimientos preventivos de cada máquina, por lo que no requiere ningún otro costo.
6. Estandarización de frecuencia de cambios de cuchilla: Requiere inversión. De acuerdo con los datos de la frecuencia del 2020 de cambio de cuchillas de corte de capa indicados en la Tabla 47, y la frecuencia propuesta para el año curso indicada en la Tabla 48, se demuestra que se

debe pasar de seis a ocho cambios de cuchillas anuales por máquina para reducir la generación de arrugas en la capa estabilizadora. Con base en los datos del costo brindados por el Departamento de Mantenimiento, el costo del cambio de cada cuchilla es de ¢10.175,85. Tomando en cuenta que son trece máquinas y dos cuchillas por cada máquina, y que la frecuencia de cambios será de 8 anualmente, el costo total anual por cambio de cuchillas es de ¢2.116.576,80. El anterior costo total anual (con frecuencia de seis cambios anuales) es de ¢1.587.432,60. Por lo tanto, la diferencia en el costo anual es de ¢529.144,20.

Acorde con los puntos mencionados, la inversión requerida asciende a ¢6.375.594,20. En la Tabla 53 se resume el desglose de la inversión requerida.

Tabla 53 Inversión del proyecto

Tipo de mejora	Detalle de mejora	Inversión	Frecuencia
Rediseño	Rediseño del flujo de acciones del operador	¢ -	N/A
	Estandarización de tensión en el linner	¢ -	N/A
	Estandarización de la presión de freno del transporte	¢ -	N/A
Optimización	Cambio en el tipo de linner	¢ 2 250 000,00	Única vez
	Instalación de fotocelda de detección de arrugas	¢ 3 596 450,00	Única vez
	Estandarización de frecuencia de cambio de cuchillas	¢ 529 144,20	Anual
Inversión		¢ 6 375 594,20	

Nota: David Barrios Delgado.

Tal y como se visualiza en la Tabla 53, la inversión en el tipo de linner y la instalación de la fotocelda de detección de arrugas en la capa estabilizadora, requieren ser realizados una única vez. Con respecto al rubro de estandarización de la frecuencia de cambio de cuchillas tendrá un costo anual, debido al cambio en la frecuencia con la que será llevado a cabo este proceso.

Beneficios económicos

Los beneficios económicos del proyecto se resumen en la Tabla 54.

Tabla 54 Beneficio económico del proyecto

Rubro	Cantidad	UM
Horas NOT antes	10,79	horas/día
Horas NOT después	6,50	horas/día
Reducción en NOT (tiempo ganado) (10,79 hrs-6,50 hrs)	4,29	horas/día

Costo fabril por hora por máquina (MOB+Fijo+Variable)	₡	198 804,38	colones/hora
Costo fabril en tiempo ganado (MOB+Fijo+Variable)	₡	852 870,77	colones/en 4,29 hrs
Llantas producidas por hora por cada máquina KB (378/22)		17	llantas/hora
Llantas producidas en tiempo ganado (4,29 hrs*17 llantas)		74	llantas/día
Costo de oportunidad por cada llanta vendida	₡	12 187,50	colones/día
Ganancia por producción de llantas en tiempo ganado (74 llantas* ₡12.187,50 colones)	₡	898 340,63	colones/día
Ahorro diario por reducción de NOT y producción de llantas (₡898.340,63-₡852.870,77)	₡	45 469,86	colones/día
Días productivos promedio anuales		272	días/año
Ahorro anual por reducción de NOT y producción de llantas (₡45.469,86*272 llantas)	₡	12 367 800,90	colones/año

NOT=Tiempo no operativo

Nota: David Barrios Delgado.

Relacionando el beneficio económico con la inversión requerida, la inversión del proyecto, el tiempo de recuperación de la inversión es de 0,48 años, o su equivalente a cinco meses y veintidós días, teniendo, excluyendo la inversión requerida por única vez, beneficios anuales por ₡11.838.656,70. En la Tabla 55 se detalla la relación mencionada.

Tabla 55 Relación beneficio económico-inversión requerida

Rubros	Cantidad	UM
Inversión requerida (única vez)	₡ 5 846 450,00	colones/por única vez
Inversión requerida	₡ 529 144,20	colones/año
Beneficio económico	₡ 12 367 800,90	colones/año
Tiempo de recuperación de la inversión	0,48	años

Nota: David Barrios Delgado.

Plan de implementación

Figura 87 Plan de implementación del proyecto

(IIP) PLAN DE IMPLEMENTACIÓN												
TÍTULO: Rediseño del proceso de producción de armado de llantas												
ITEM	Resp.	Plan	Set	Oct	Nov	Die						
1.Rediseño del sistema de producción de armado de llantas	BSCR	Farocart Actual										
1.1 Entrenamiento a operadores de máquinas KB en el cambio de método en la IT-700-255.	BSCR	Farocart Actual										
2. Estandarización de la tensión en el linner	BSCR	Farocart Actual										
2.1 Estudio de análisis de tensión en el linner adecuado para la máquina ST-1.	BSCR	Farocart Actual										
2.2 Estudio de análisis de tensión en el linner adecuado para la máquina ST-2.	BSCR	Farocart Actual										
2.3 Estudio de análisis de tensión en el linner adecuado para la máquina ST-3.	BSCR	Farocart Actual										
2.4 Estudio de análisis de tensión en el linner adecuado para la máquina ST-4.	BSCR	Farocart Actual										
2.5 Entrenamiento a operadores del uso de tensión correcto según AV-900-23.	BSCR	Farocart Actual										
3. Estandarización de la presión de freno del transporte	BSCR	Farocart Actual										
3.1 Estudio de análisis de presión de freno del transporte adecuado para la máquina ST-1.	BSCR	Farocart Actual										
3.2 Estudio de análisis de presión de freno del transporte adecuado para la máquina ST-2.	BSCR	Farocart Actual										
3.3 Estudio de análisis de presión de freno del transporte adecuado para la máquina ST-3.	BSCR	Farocart Actual										
3.4 Estudio de análisis de presión de freno del transporte adecuado para la máquina ST-4.	BSCR	Farocart Actual										
3.5 Entrenamiento a operadores del uso de tensión correcto según AV-900-24.	BSCR	Farocart Actual										
4. Estandarización en el tipo de linner	BSCR	Farocart Actual										
4.1 Compra de 12 unidades de linner nuevo.	BSCR	Farocart Actual										
4.2 Entrenamiento a operadores en el uso correcto del linner según AV-900-22.	BSCR	Farocart Actual										
5. Instalación de fotocelda de detección de arrugas de capa	BSCR	Farocart Actual										
5.1 Instalación de fotocelda en las máquinas KB.	BSCR	Farocart Actual										
6. Estandarización de la frecuencia de cambio de cuchillas nuevas	BSCR	Farocart Actual										
6.1 Entrenamiento a mecánicos de mantenimientos en el matriz MT-800-22.	BSCR	Farocart Actual										

Nota: David Barrios Delgado.

En la Figura 87 se detalla el plan de implementación del proyecto, donde destaca:

- Inicio y liberación del rediseño del flujo de acciones del operador en la máquina KB-13 a partir del mes de setiembre. Liberación en todo el grupo de máquinas KB, a partir de enero del 2022.
- Inicio y liberación de la puesta en marcha de la liberación del uso de la tensión de linner estipulada en la máquina ST-4, a partir del mes de setiembre. Liberación de estandarización de tensión en el linner apropiada para todo el grupo de máquinas ST, a partir de enero del 2022.
- Inicio y liberación de la puesta en marcha de la liberación del uso de la presión de freno estipulada en la máquina ST-4, a partir del mes de setiembre. Liberación de estandarización de presión de freno apropiada para todo el grupo de máquinas ST, a partir de enero del 2022.
- Compra de linner nuevo para completar el faltante en el departamento de Steelastic, a partir de la primera semana de noviembre del 2021. Entrenamiento a operadores del grupo de máquinas ST concluye en la última semana de octubre.
- Inicio y liberación de la fotocelda de detección de arrugas en la capa estabilizadora en la máquina KB-13, a partir del mes de setiembre. Finalización de instalación de fotocelda en todo el grupo de máquinas KB a partir de la última semana de octubre del 2021.
- Inicio de la puesta en marcha del cambio de cuchillas en cada máquina KB durante su respectivo mantenimiento preventivo, a partir del mes de setiembre. Entrenamiento a mecánicos de mantenimiento a partir de la primera semana de octubre del 2021.

REFERENCIAS

- Alfaro, A., y Moore, R. (2020). *Estudio de tiempos como base para trazar estrategias orientadas al incremento de la eficiencia del proceso de batido de una planta de producción de helados*. *Industrial Data*, 23(1), 113-126. doi:<https://doi.org/10.15381/idata.v23i1.16651>
- Becilla, J. (2019). *Aplicación de la técnica de balance de línea para la optimización de la productividad en el llenado de cajas de banano en la hacienda "La Pasión"*[Grado de Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador]. <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/4841>
- Betancourt, D. (16 de Agosto de 2016). *Diagrama de causa y efecto como herramienta de calidad*. ingenio empresa: <https://ingenioempresa.com/diagrama-causa-efecto/>
- Casafranca, F. (15 de Febrero de 2019). *Total Quality Management: ¿en qué consiste esta estrategia de gestión? conexiones*: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/02/total-quality-management-en-que-consiste-esta-estrategia-de-gestion/>
- Castromonte, N. (2020). *Análisis y propuesta de mejora en el proceso de extrusión en una empresa manufacturera de llantas usando herramientas de Lean Manufacturing* [Grado de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Perú, Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17686>
- Chalen, J. (2014). *Análisis del proceso de envasado de agroquímico y sus impactos en los niveles de productividad de una empresa ubicada en la ciudad de Guayaquil* [Grado de Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador]. <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/2515>
- Concha, A., Moraga, J., y Santelices, I. (2009). *Flexibilización de producción en una fábrica de tejidos de algodón*. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 1(1), 43-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215016873006>
- Díaz, P. (2011). *Fisterra. Métodos paramétricos para la comparación de dos medias*. t de Student: <https://www.fisterra.com/formacion/metodologia-investigacion/metodos-parametricos-para-comparacion-dos-medias.-t-student/>

- Fontt, I. (2021). **Sistemas de control en la empresa.** gestiopolis:
<https://www.gestiopolis.com/sistemas-de-control-en-la-empresa/>
- García, L. (2021). **Los antecedentes de la investigación.** CELEE:
<https://celee.uao.edu.co/antecedentes-de-investigacion/>
- Gavilanes, R. (2020). **Optimización de recursos para mejorar los procesos productivos en una empresa metalmecánica** [Grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador].
<http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5172?show=full>
- Gutiérrez, H. (2015). **Calidad total y productividad.** McGRAW-HILL.
- Heizer, J., y Render, B. (2008). **Dirección de la producción.** PEARSON EDUCACIÓN, S. A.
- Hernández , G. (10 de julio de 2017). **Histogramas.** aprendiendocalidadyadr:
<https://aprendiendocalidadyadr.com/histogramas/>
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). **Metodología de la investigación.** Mcgraw Hill.
- Jaya, A. (2018). **El rediseño de procesos como herramienta de mejora.** Eumed.net:
<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/11/redisenoprocesosmejora.html>
- Juarez, Y., Rojas, J., Medina, J., y Pérez, A. (2015). **El enfoque de sistemas para la aplicación de manufactura esbelta.** Científica, 15(1), 35-42.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61419301005>
- Krajewski, L. J. (2000). **Administración de operaciones: estrategia y análisis.** Pearson Educación.
- Manene, L. (2011). **Los diagramas de flujo: definición, objetivo, ventajas, elaboración, fases, reglas, y ejemplos de aplicaciones.** Academia.edu:
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60656037/Los_diagramas20190920-8696-u4r0qz.pdf?1568997372=yresponse-content-disposition=inline%3B+filename%3DEl_28_julio_2011_en_Estructura_Organizat.pdfyExpire=1615155084ySignature=aIpSTvWxdNaSVkiRwt~K0~aQU3SNqVg1nU

- Montoya, J. (2019). *Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora de los procesos de producción en el área de tintorería y acabado de una empresa textil* [Grado de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Perú, Perú].
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15522>
- Pulido, A., y Bocanegra, C. (2015). *Mitigación de defectos en productos manufacturados. Ingeniería y competitividad*, 17(1), 161-172.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291339265014>
- Raffino, M. (2021). *Proceso de producción*. Concepto. de: <https://concepto.de/proceso-de-produccion/>
- Ruiz, J., Ramírez, A., y Luna, K. (2017). *Optimización de tiempos de proceso en desestibadora y en llenadora. Ra Ximhai*, 13(3), 291-298.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46154070016>
- Sales, M. (2017). *Gestiopolis. Diagrama de Pareto*. Ejemplos y elaboración en excel: <https://www.gestiopolis.com/diagrama-de-pareto/>
- Serrao, I. (2007). *Análisis de la aplicabilidad de la técnica VSM en el rediseño de sistemas productivos* [Doctorado en Gestión Empresarial, Universidad de Girona, España].
<https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/4516/tibl.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Sipper, D., y Bulfin, R. (1998). *Planeación y control de la producción*. McGRAW-HILL.
- Supo, J. (2015). *Cómo empezar una tesis – Tu proyecto de investigación en un solo día*. BIOESTADISTICO EIRL.
- Sy Corvo, H. (08 de Junio de 2019). *Capacidad de producción: tipos, cómo se calcula, ejemplos*. lifeder.com: <https://www.lifeder.com/capacidad-de-produccion/>
- Vázquez, M., y Rejane Ferreira, M. (2006). *Introducción a las técnicas cualitativas de investigación aplicadas*. Servei de Publicacions Universitat Autònoma de Barcelona. Servei de Publicacions Universitat Autònoma de Barcelona.
- Verdoy, J. (2006). *Manual de control estadístico de calidad: teoría y aplicaciones*. Publicacions de la Universitat Jaume I.

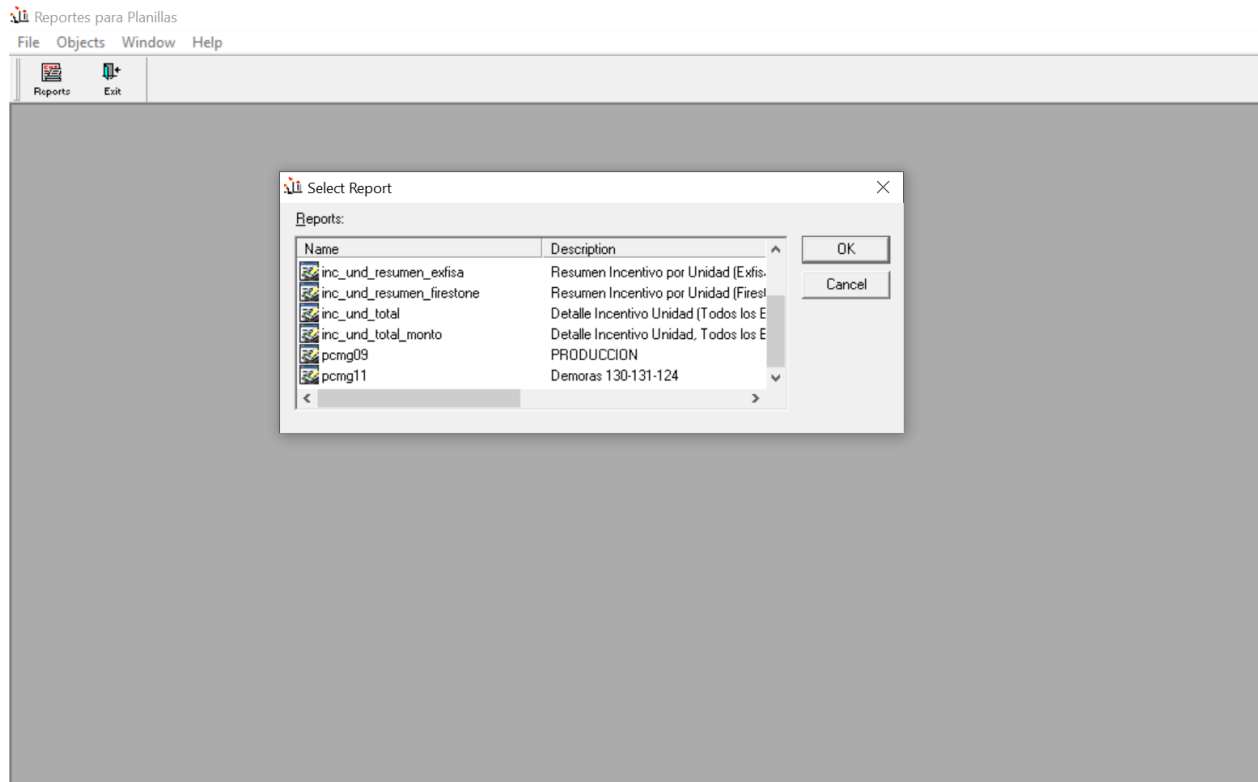
Verdoy, J. (2006). *Manual de control estadístico de calidad: teoría y aplicaciones*. Universitat Jaume I.

Villajulca, C. (2011). *El tiempo muerto: dead time en los procesos. Instrumentación y control.net*: <https://instrumentacionycontrol.net/el-tiempo-muerto-dead-time-en-los-procesos/>

Wennermark, J. (2019). *Consultoría Procesos. Los tiempos y la productividad*: <http://www.consultoriaprosesos.com/el-estudio-de-tiempos/>

APÉNDICES

Apéndice A: Sistema AS400



Apéndice B: Sistema traksys



View Report

Clasificacion General de Demoras

< General
 Area: ----KBNs
 System: KBN_1
 Start Date: July 1 2021
 7:00:00 AM
 End Date: July 2 2021
 7:00:00 PM
 Display Type: Tabular by Duration

< Grouping
 Group: System
 Sub-Group: Event Category



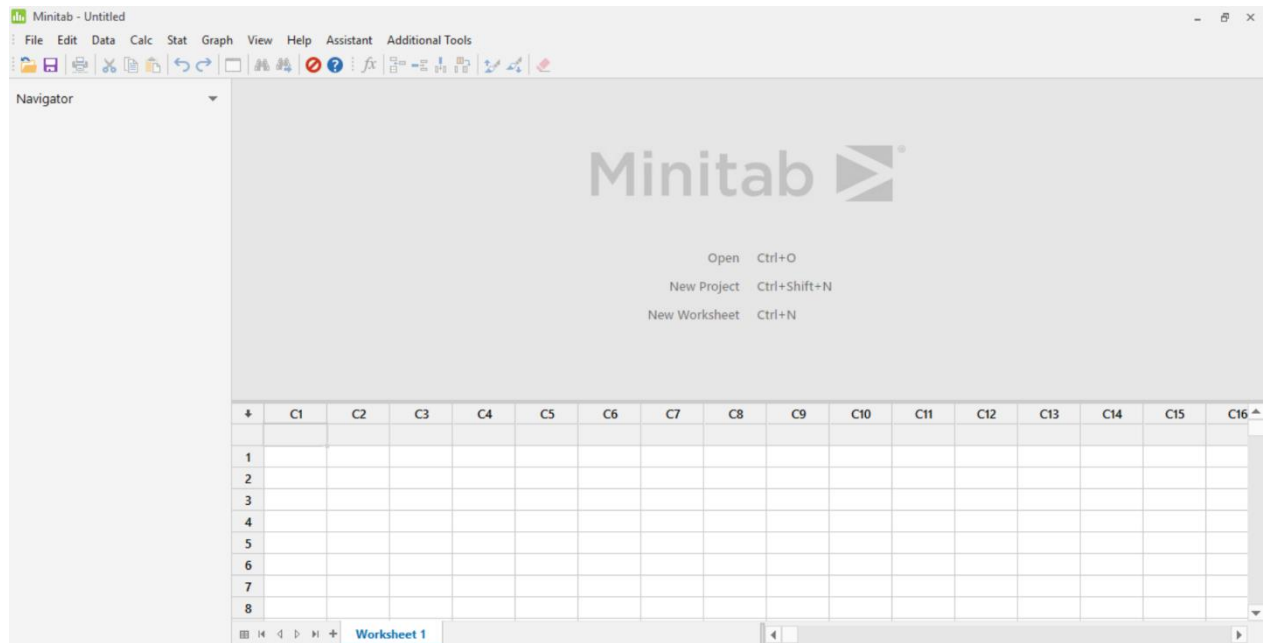
Clasificacion General de Demoras (KBN_1)

TrakSYS

Group System | Sub-Group Event Category

7/1/2021 - 7/2/2021

System	Event Category	Start Date/Time	End Date/Time	Shift	OEE Type	Count	Average	Duration
<input type="checkbox"/> KBN_1						77	00:07:37	09:46:05
<input type="checkbox"/>	Comida					3	00:47:39	02:22:58
<input type="checkbox"/>	Cambio de medida (Set Up)					1	01:25:20	01:25:20
<input type="checkbox"/>	Falta Rodado					1	01:23:23	01:23:23
<input type="checkbox"/>	Miscelaneos					10	00:06:13	01:02:11
<input type="checkbox"/>	Cambio Paredes					13	00:03:33	00:46:13
<input type="checkbox"/>	Chequeo Inicio Turno					3	00:11:38	00:34:54
<input type="checkbox"/>	Cambio Telas					5	00:05:15	00:26:16
<input type="checkbox"/>	Cambio Sellante					5	00:03:49	00:19:06
<input type="checkbox"/>	F.S. Guias Pantograficas					2	00:09:13	00:18:26
<input type="checkbox"/>	Bajar Llantas					13	00:01:09	00:14:59
<input type="checkbox"/>	Falta Carreta					5	00:02:52	00:14:21
<input type="checkbox"/>	Cambio Capa Estabilizadora					5	00:02:44	00:13:39
<input type="checkbox"/>	Union Sellante					2	00:02:50	00:05:40
<input type="checkbox"/>	F.M. Aplicadora Filler					1	00:04:36	00:04:36
<input type="checkbox"/>	Defecto Sellante					1	00:04:21	00:04:21
<input type="checkbox"/>	Capa-Uniones abiertas					1	00:02:35	00:02:35
<input type="checkbox"/>	Falla Codigo de Barras					2	00:01:04	00:02:08
<input type="checkbox"/>	Tecnico					1	00:01:56	00:01:56
<input type="checkbox"/>	Capa-Transporte-Liner defectuoso					1	00:01:43	00:01:43
<input type="checkbox"/>	Cambio Filler					1	00:01:16	00:01:16
<input type="checkbox"/>	Cambio Spiral Layer					1	00:00:04	00:00:04
						77	00:07:37	09:46:05

Apéndice C: Software minitab

Apéndice D: SFD

smart flow[®]
for docs

ds
Versión 3.100.0.0

Dominio

Autenticación estándar


Usuario

Contraseña

Aceptar

Soluciones de Alta Tecnología DS, S.A. <http://www.solucionesdsr.com> Derechos Reservados © 2008 San José Costa Rica

Apéndice E: Formato diagrama Hombre-Máquina

			
FORMATO Diagrama hombre-máquina			
Máquina XXXXX			
t (s)	OPERADOR	TAMBOR 1RA ETAPA	TAMBOR 2DA ETAPA
1			
3			
5			
7			
9			
11			
13			
15			
17			
19			
21			
23			
25			
27			
29			
31			
33			
35			
37			
39			
41			
43			
45			
47			
49			
51			
53			
55			
57			
59			
61			
63			
65			
67			
69			
71			
73			
75			
77			
79			
81			
83			
85			
87			
89			
91			
93			
95			
97			
99			
101			

Señale con las flecha la ubicación del operador durante su tarea

Indique las tareas del operador

Indique las tareas de la primera etapa de la máquina

Indique las tareas de la primera etapa de la máquina

Las tareas deben estar alineadas a su duración en segundos