



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROPUESTA DE MEJORA PARA REDUCIR EL SCRAP GENERADO EN PLANTA
PRODUCTIVA GOODYEAR CHILE UTILIZANDO METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE
CALIDAD**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

JAVIER IGNACIO ROJAS PULGAR

**PROFESOR GUÍA:
RICARDO SAN MARTÍN ZURITA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
PATRICIO CONCA KEHL
ANDREAS WIESE**

**SANTIAGO DE CHILE
2018**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: JAVIER IGNACIO ROJAS PULGAR
FECHA: 22/10/2018
PROFESOR GUÍA: RICARDO SAN MARTÍN ZURITA

PROPUESTA DE MEJORA PARA REDUCIR EL SCRAP GENERADO EN PLANTA PRODUCTIVA GOODYEAR CHILE UTILIZANDO METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE CALIDAD

The Goodyear Tire & Rubber Company es la tercera mayor empresa a nivel mundial en manufactura de neumáticos. Esta compañía produce al año 162 millones de neumáticos lo que le permite consolidar ventas e ingresos anuales de US\$15.158 millones y US\$1.264 millones respectivamente. La firma posee operaciones de marketing en los cinco continentes y su estrategia de diferenciación es en calidad. El presente trabajo se desarrolla en la planta productiva de Goodyear Chile, ubicada en la comuna de Maipú (Región, Metropolitana), que cuenta con 93.000 m², fabrica en promedio 16.000 unidades de neumáticos al día y en ella trabajan 1.400 empleados.

Actualmente en la planta Goodyear Chile se desarrolla un cambio cultural denominado “Optimización de Planta”, el cual promueve la reducción de desperdicios (ineficiencias operacionales) por medio de proyectos semestrales. En esta categoría se encuentra el scrap, un tipo particular de desperdicio asociado a productos defectuosos y que al mes genera costos hundidos y de eliminación que ascienden a US\$934.000. Al respecto, este trabajo se encarga de diseñar una mejora operacional desde la perspectiva de calidad para reducir los niveles de scrap y generar ahorro en costos. Para conseguir esto se diseñó una metodología de 5 etapas aplicada a la falla “Daño en Transportadora” que genera costos mensuales de US\$14.600 y es la séptima más crítica de la planta.

El trabajo realizado permitió detectar errores de diseño en el actual transporte interno de neumáticos vulcanizados, los que propician la interacción prolongada de los ejemplares con fuerzas deformadoras. Para corregir esto, se propone un mecanismo de detección y reacción temprana que evite las interacciones prolongadas; y se plantean 7 correcciones al sistema de transporte que eviten la generación de fuerzas deformadoras.

El proyecto planteado considera una inversión inicial de US\$6.340 y costos mensuales de US\$1.850 destinados a aumentar la fuerza de trabajo. Los ahorros estimados bajo un escenario neutro son de US\$5.470 mensuales lo que permite recuperar la inversión en el segundo mes y alcanzar un VAN de US\$32.000; hechos que validan la efectividad de la metodología utilizada.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y abuela por el apoyo continuo e incondicional, sin el cual difícilmente podría haber avanzado tanto.

Parientes, amigos y cercanos que con su presencia y apoyo, hicieron este camino más entretenido y ameno.

A operarios, inspectores, mecánicos, eléctricos, auditores e ingenieros de planta en Goodyear por su gran amabilidad y disposición de ayuda al momento de resolver mis dudas facilitando enormemente el levantamiento de información.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes generales de la empresa	2
2.1. The Goodyear Tire & Rubber Company	2
2.2. Goodyear Chile	3
3. Problemática.....	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general.....	7
4.2. Objetivos específicos.....	7
4.3. Alcances.....	7
5. Marco teórico	8
5.1. Levantamiento de información	8
5.2. Gráficas Pareto, estratificación e histogramas	8
5.3. Matriz de evaluación y selección	8
5.4. Intervalos de confianza	9
5.5. Diagramas de flujo	10
5.6. Los 5 por qué.....	10
5.7. Diagramas de causa y efecto.....	10
5.8. Evaluación económica.....	11
6. Marco metodológico	12
6.1. Revisión de metodologías	12
6.2. Diseño.....	14
7. Definición de proyecto	16
7.1. Intereses del área de calidad	16
7.2. Oportunidades de mejora	17
7.2.1. Proceso productivo	17
7.2.2. Generación de scrap.....	21
7.3. Selección del tema	24
7.4. Metas del proyecto	24

8. Levantamiento de información	25
8.1. Descripción del proceso de transporte	25
8.1.1. Abastecimiento	26
8.1.2. Vulcanización.....	27
8.1.3. Descarga	28
8.1.4. Detención.....	29
8.1.5. Liberación	33
8.1.6. Conveyor	34
8.2. Descripción del problema	42
9. Análisis del problema	45
9.1. Hipótesis del problema	45
9.1.1. Revisión base de datos.....	45
9.1.2. Revisión muestreo.....	48
9.2. Análisis de cierre	62
10. Propuestas de mejora.....	65
10.1. Propuestas.....	65
10.1.1. Corrección de anomalías	65
10.1.2. Sistema de detección y alerta temprana	77
10.1.3. Plan de contingencia	80
10.1.4. Extender las zonas y sistemas de enfriamiento	83
10.2. Evaluación económica.....	84
10.2.1. Costos del proyecto.....	84
10.2.2. Ahorros.....	85
10.2.3. Tasa de descuento.....	87
10.2.4. VAN del proyecto	88
11. Plan de ejecución y seguimiento	90
11.1. Programación de mejoras	90
11.2. Seguimiento	93

12. Conclusiones	94
13. Bibliografía	95
14. Anexos	98
14.1. Anexo A: Antecedentes de Goodyear Global	98
14.2. Anexo B: Antecedentes de Goodyear Chile	102
14.3. Anexo C: Problemática	104
14.4. Anexo D: Levantamiento de información	105
14.5. Anexo E: Propuestas de mejora	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de neumáticos Goodyear producidos en Chile.	4
Figura 2. Nivel de scrap generado y nivel tolerado.	5
Figura 3. Diagrama de Ishikawa.	11
Figura 4. Cumplimiento del scrap generado en Goodyear Chile.	16
Figura 5. Proceso productivo de neumáticos.	17
Figura 6. Nivel de scrap verde y curado.	21
Figura 7. Costo hundido y de eliminación mensual, por tipo de scrap generado.	22
Figura 8. Pareto de fallas generadoras de scrap curado.	22
Figura 9. Nivel de scrap por falla Daño en Transportadora y producción curada.	24
Figura 10. Etapas el proceso de transporte.	25
Figura 11. Líneas de prensa.	26
Figura 12. Carga de neumáticos en prensa.	26
Figura 13. Curado de neumáticos.	27
Figura 14. Brazos extractores y bandejas de salida.	28
Figura 15. Extracción de neumáticos. a) Brazos retirados. b) Brazos bajo los neumáticos. c) Brazos inclinados. d) Caída de neumáticos.	29
Figura 16. Detención de neumáticos	29
Figura 17. Correa central.	29
Figura 18. Liberación de neumáticos. a) Ausencia de neumáticos en correa. b) Liberación lado A. c) Ausencia de neumáticos. d) Liberación lado B.	33
Figura 19. Cabezal de línea.	34
Figura 20. Correa de polines.	35
Figura 21. Correa estera.	35
Figura 22. Correa intralox transversal.	36
Figura 23. Correa intralox longitudinal.	36
Figura 24. Funcionamiento sorteadoras.	37
Figura 25. Funcionamiento de centradoras.	37
Figura 26. Funcionamiento de rampas de polines.	38
Figura 27. Funcionamiento motopolines.	38
Figura 28. Transporte de neumáticos vulcanizados en conveyor.	39
Figura 29. Comunicación flujo de línea 100 y 200.	39
Figura 30. Comunicación flujos de línea 100, 200 y 300.	40

Figura 31. Temperatura de neumáticos en conveyor.	40
Figura 32. Comunicación flujos de líneas 500 y 600.	41
Figura 33. Comunicación flujos líneas 100, 200, 300 y 400.	41
Figura 34. Comunicación flujo de líneas 100, 200, 300, 400, 500 y 600.	42
Figura 35. Breaker hundido.	42
Figura 36. Daño en pestañas.	43
Figura 37. Daño en lateral.	43
Figura 38. Generación de scrap por aro de neumático.	45
Figura 39. Generación de scrap por línea de vulcanización.	46
Figura 40. Nivel de scrap por turno de trabajo.	47
Figura 41. Neumáticos a altas temperaturas, código de barra y conveyor cercado.	49
Figura 42. Neumáticos dañados en carro.	49
Figura 43. Fricción con Bladder durante la descarga de neumáticos.	50
Figura 44. Neumático deformado por sorteadora.	50
Figura 45. Neumático deformado por centradora.	51
Figura 46. Compuerta que atrapa neumáticos.	52
Figura 47. Neumático atrapado en compuerta.	52
Figura 48. Cola en bandejas por neumático apretado en compuerta.	54
Figura 49. Cola por bandejas poco inclinadas.	54
Figura 50. Neumático atrapado en brazo extractor.	55
Figura 51. Sensor de bandeja.	55
Figura 52. Atrapamiento de neumáticos.	56
Figura 53. Corrección de atrapamientos.	59
Figura 54. Indiciador scrap normalizado en la línea 400.	60
Figura 55. Congestión por interrupción de correas transportadoras.	60
Figura 56. Interrupción por sorteadora caída.	61
Figura 57. Falta de capacidad en inspección post-vulcanización.	61
Figura 58. Congestión en conveyor de zona testeo.	62
Figura 59. Rediseño de compuertas.	66
Figura 60. Reducción de la elevación en bandejas.	68
Figura 61. Soporte lateral y pendiente de polines en bandejas de cinta.	69
Figura 62. Arqueo de brazos extractores.	70
Figura 63. Extensión de brazo extractor.	70

Figura 64. Bandejas con falta de polines y/o poco inclinadas.	72
Figura 65. Falta de polines e inclinación en bandeja.	72
Figura 66. Descenso fallido de neumáticos en bandeja.	73
Figura 67. Funcionamiento incorrecto de bandejas.	74
Figura 68. Válvula de alivio en zona inspección post-vulcanización.	75
Figura 69. Actual sistema de detección de atrapamientos e interrupciones.	77
Figura 70. Reubicación de sensores.	78
Figura 71. Neumáticos superpuestos.	80
Figura 72. Interruptor de movimiento en cabezal de correa central.	81
Figura 73. Muro divisorio de conveyors.	83
Figura 74. Proyecto Goodyear de mejora de compuertas.	87
Figura 75. Secuencia de actividades.	92
Figura 76. Organigrama global de Goodyear Global.	98
Figura 77. Producción de neumáticos de Goodyear Global.	99
Figura 78. Ventas e ingresos netos de Goodyear Global.	100
Figura 79. Escenario competitivo de la industria de manufactura de neumáticos.	101
Figura 80. Organigrama de Goodyear Chile (estructura matricial).	102
Figura 81. Turnos rotativos de trabajo.	103
Figura 82. Esquema de bandejas y compuertas en cavidades de vulcanización.	106
Figura 83. Scrap normalizado promedio (2017) por cavidad.	107
Figura 84. Diagrama de causa y efecto para la problemática Daño en Transportadora.	108
Figura 85. Plan de contingencia.	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelo del Valor Actual Neto.	11
Tabla 2. Flujo acumulado.	11
Tabla 3. Ciclo DMAIC de la metodología Six-Sigma.....	12
Tabla 4. Ciclo de mejoramiento continuo KAIZEN.	13
Tabla 5. Ciclo de trabajo PDCA.	13
Tabla 6. Etapas del Rediseño de Procesos de Negocio.	14
Tabla 7. Etapas de implementación de metodologías de gestión de calidad.	14
Tabla 8. Proceso de preparatoria.	18
Tabla 9. Proceso de construcción.....	19
Tabla 10. Composición de los neumáticos.	19
Tabla 11. Proceso de vulcanización.....	20
Tabla 12. Proceso de testeo.	21
Tabla 13. Matriz de selección de falla.	23
Tabla 14. Temperatura promedio de neumáticos en cabezales de línea.	30
Tabla 15. Bandeja y sistema de detención en líneas 500 y 600.....	30
Tabla 16. Bandeja y sistema de detención en línea 400B y cavidades 417/418/419/420.....	31
Tabla 17. Bandeja y sistema de detención en Cavidades 113/114/205/206/207/208/239/240.	31
Tabla 18. Bandeja y sistema de detención en resto de cavidades.....	32
Tabla 19. Daño scrap por línea de vulcanización.	44
Tabla 20. Intervalos de confianza al 95% para la diferencia scrap de las líneas productivas.	46
Tabla 21. Horas de viaje de los neumáticos scrap.	48
Tabla 22. Uso de los “5 por qué” en el aplastamiento por centradora.	51
Tabla 23. Uso de los “5 por qué” en compuerta que atrapa neumáticos.....	53
Tabla 24. Uso de los “5 por qué” para las colas.	54
Tabla 25. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (1).....	56
Tabla 26. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (2).....	56
Tabla 27. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (3).....	57
Tabla 28. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (4.1).....	57
Tabla 29. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (4.2).....	58
Tabla 30. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (4.3).....	58
Tabla 31. Interacción de variables fuerza, temperatura y tiempo.....	63
Tabla 32. Directrices de mejora en el proceso de transporte.....	65

Tabla 33. Costos de coordinar la descarga y detención de neumáticos.	66
Tabla 34. Compuertas sin diseño mejorado.....	66
Tabla 35. Costos de mejorar el diseño de compuertas.....	67
Tabla 36. Matriz de evaluación de propuestas para corregir atrapamientos en compuerta.	67
Tabla 37. Costos de inclinar bandejas.	68
Tabla 38. Costos de extender y arquear brazos extractores.....	71
Tabla 39. Costos de mejorar punto de lubricación en centradoras.....	71
Tabla 40. Costo de corregir bandejas con poca inclinación.	73
Tabla 41. Costo de corregir funcionamiento de bandejas 428, 430 y 440.....	74
Tabla 42. Costo de contratar inspector adicional.	76
Tabla 43. Aspectos para considerar en inspecciones y mantenciones preventivas.	76
Tabla 44. Costos de reubicar los sensores.	79
Tabla 45. Costo de añadir mensaje en tablero de prensa.....	79
Tabla 46. Costo de capacitar operarios con plan de contingencia.....	82
Tabla 47. Resumen de costos fijos y variables de las propuestas de mejora	84
Tabla 48. Indicador scrap mensual del año 2017.....	85
Tabla 49. Ahorros bajo escenario optimista de scrap (0,03%).....	86
Tabla 50. Ahorros bajo escenario neutro de scrap (0,05%).	86
Tabla 51. Ahorros bajo escenario pesimista de scrap (0,07%).....	86
Tabla 52. Desempeño económico en proyecto similar (Roa, 2016).	87
Tabla 53. Desempeño económico de proyecto Goodyear 2016.....	88
Tabla 54. Flujo de caja del proyecto bajo escenario optimista.....	88
Tabla 55. Flujo de caja del proyecto bajo escenario neutro.	89
Tabla 56. Flujo de caja del proyecto bajo escenario pesimista.....	89
Tabla 57. Impacto de las propuestas de mejora.	90
Tabla 58. Complejidad de las propuestas de mejora.	91
Tabla 59. Prioridad de las propuestas de mejora.....	91
Tabla 60. Misión y Visión de Goodyear.....	102
Tabla 61. Enfoques de mejora en Goodyear Chile.....	104
Tabla 62. Tipos de desperdicios en las empresas.	104

GLOSARIO

Símbolo	Definición
US\$	Símbolo monetario para el dólar estadounidense
€	Símbolo monetario para el euro
CLP	Código monetario para el peso chileno
.	Separador de miles
,	Separador de decimales
”	Longitud en pulgadas
mm	Longitud en milímetros
cm	Longitud en centímetros
m	Longitud en metros
cm ²	Área en centímetros cuadrados
m ²	Área en metros cuadrados
kg	Masa en kilogramos
hr / hrs	Tiempo en horas
min.	Tiempo en minutos
Ntco.	Abreviación para unidades de neumáticos

Término	Definición
Desperdicio	En el contexto de calidad, se refiere a: sobreproducción, tiempos ociosos, distancias entre procesos, existencia de inventario, procesos anexos, movimientos anti ergonomicos, scrap
Scrap	Materia prima, producto intermedio o final, que en el proceso productivo resulta dañado o defectuoso sin posibilidad de reparación
EO (Equipo Original)	Línea de negocio enfocada en la manufactura de neumáticos para vehiculos nuevos, por lo que su cliente son las firmas que fabrican vehículos motorizados
UR (Unidades de Reemplazo)	Línea de negocio enfocada en la manufactura de neumáticos para vehiculos usados, por lo que su principal cliente son Retailers
TIC	Sigla para Tecnologías de la Información y Comunicación
Cuello de botella	Etapas del proceso productivo más lenta que retrasa el proceso global
Polín	Rodillo giratorio que facilita el transporte de objetos por su zona superior
Conveyor	Correa transportadora automatizada que circula en lo alto de la planta
Cura	Sinónimo para proceso de vulcanización de neumáticos
Curado	Condición de un neumático que ha sido vulcanizado
Pirómetro	Instrumento para medir temperatura
SAP	Software de apoyo a la planificación de recursos en las empresas
Set up	Proceso de configuración de una máquina previa su operación
Downtime	Periodo de inactividad operativa de una máquina

1. Introducción

La firma The Goodyear Tire & Rubber Company lleva su nombre en honor a Charles Goodyear, descubridor en 1938 del proceso de vulcanización que mejora las propiedades físicas del caucho haciéndolo un material viable en la confección de ruedas. Desde su creación, la compañía ha sabido expandirse y aprovechar la creciente demanda de neumáticos debido al auge de la industria automotriz. Esto le ha permitido liderar el mercado global actual junto a su competencia Bridgeston y Michelin.

Para mantenerse en el mercado mundial, Goodyear, como muchas empresas de manufactura, ha debido industrializar sus procesos con mira en hacer sus líneas de producción más eficientes. Esto sitúa a la “producción” como la prioridad al momento de invertir, mejorar los procesos y capacitar a los trabajadores; sin embargo, la empresa también ha resaltado la importancia en la “calidad” de sus productos para poder diferenciarse de sus competidores. De este modo, mientras que la producción permite consolidar ventas presentes, la calidad se encarga de asegurar ventas futuras.

El problema surge al momento de llevar a la práctica ambos enfoques debido a que procesos de mejora en calidad (auditorías, inspección de producto, testeo) retrasan la producción. De igual forma, cuando se realizan intervenciones correctivas o preventivas, se priorizan aquellas problemáticas que detienen la producción sobre aquellas asociadas a calidad. Como resultado, un 1,8% de la producción intermedia y final resulta defectuosa o dañada (scrap).

Para equilibrar ambos enfoques, desde el 2015, Goodyear realiza un cambio cultural basado en el modelo japonés Lean Manufacturing que establece principios de reducción de desperdicios tanto de producción como en calidad. En este contexto se desarrolla el tema de memoria para reducir el desperdicio scrap que actualmente genera costos mensuales de US\$934.000. Para ello se diseñó una metodología de trabajo de 5 etapas basada en la revisión bibliográfica de Six-Sigma, KAIZEN, Plan-Do-Act-Check y Rediseño de Procesos de Negocio.

2. Antecedentes generales de la empresa

A continuación, se describe en términos generales y globales la empresa The Goodyear Tire & Rubber Company (en adelante Goodyear), para luego introducir su planta productiva ubicada en Chile (Goodyear Chile)¹.

2.1. The Goodyear Tire & Rubber Company

La Empresa Goodyear nace en 1898 en Akron (ciudad de Estados Unidos), lugar en donde mantiene su sede central. Su rubro es la manufactura de neumáticos para vehículos motorizados nuevos (**Equipo Original**; 29% de la producción) y antiguos (**Unidades de Reemplazo**; 71% de la producción)². Sus clientes son fabricantes de vehículos (línea **EO**), retail (línea **UR**) y cuenta con más de 1.100 centros de mantención y reparado donde atiende directamente al consumidor final.

Goodyear cuenta con plantas productivas, plantas de suministros (caucho y químicos), centros de testeo y centros de investigación y desarrollo distribuidos en 24 países en los 5 continentes. Administra sus instalaciones por medio de 3 unidades de negocio: Américas (sede en Akron, Estados Unidos), Asia Pacífico (sede en Shanghái, China) y en Europa, Medio Oriente y África (sede en Bruselas, Bélgica). A la cabeza se encuentra, Richard Kramer, CEO y actual presidente de Goodyear (organigrama en Anexo A, Figura 76).

A nivel competitivo, la manufactura de neumáticos es un atractivo negocio que genera más de €167 millones al año³. Esto se relaciona directamente al auge de la industria automotora que al año produce más de 95 millones de vehículos nuevos, cifra que va en aumento⁴. En este escenario, Goodyear se posiciona como la tercera gran productora de neumáticos detrás de Bridgestone y Michelin, puesto que ha mantenido por más de 10 años (competencia en Anexo A, Figura 79). Además, se ha posicionado dentro de las 50 firmas a nivel mundial con mayor reputación según el Instituto de Reputación (desde el 2016 sobre Bridgestone y bajo Michelin)⁵.

¹La principal fuente de información usada para describir Goodyear fueron sus reportes anuales disponibles en su sitio web.

²Vehículos motorizados: camionetas, automóviles, motocicletas, buses, camiones de carretera, aviones y vehículos de minería.

³Cifras año 2016 obtenidas del sitio web de Tyrepress, entidad que periódicamente publica indicadores del mercado de neumáticos (<http://www.tyrepress.com/leading-tyre-manufacturers/>).

⁴Cifras año 2016 obtenidas del sitio web de la Organización Internacional de Fabricantes de Vehículos Motorizados (<http://www.oica.net/category/sales-statistics/>).

⁵El Instituto de Reputación publica a comienzos de año el ranking de empresas con mayor reputación a nivel mundial (<https://www.reputationinstitute.com/about>).

Durante el año 2016, Goodyear elaboró 162 millones de neumáticos, alcanzó ventas netas de US\$15.158 millones y reportó ingresos netos de US\$1.264 millones (Anexo A, Figura 77 y Figura 78). Frente a este panorama, declara las siguientes metas estratégicas para el 2017 (Goodyear, 2016, p.6):

- Responder y anticiparse a las necesidades de los consumidores
- Incrementar el valor de marca para ser la opción preferida de los consumidores
- Mejorar la eficiencia en manufactura y en la cadena de suministros

2.2. Goodyear Chile

En mayo de 1969, Chile (gobierno de Eduardo Frei) junto a Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela firman el Acuerdo de Cartagena dando inicio al Pacto Andino (Kline, 1992). Dicho pacto favorecía la interacción económica entre estos países al aumentar las tasas arancelarias para el resto del mundo (Muñoz, 1977). Para ese entonces, Chile ya mantenía aranceles altos en la industria automotora, razón por la cual contaba con numerosas plantas de ensamblaje que se mantenían rentables gracias a los altos precios de venta.

Esta situación era favorable para la Industria Nacional de Neumáticos S.A. (INSA), planta productiva de neumáticos ubicada en la comuna de Maipú, Región Metropolitana⁶. Durante el régimen militar, Chile abandona el Pacto Andino (1976) repercutiendo en la rentabilidad de INSA. En 1978 el gobierno puso a la venta INSA para que recibiera capital extranjero y mejorara su gestión, siendo vendida por US\$20 millones a Goodyear quien desarrollaba su estrategia de expansión internacional (Kline, 1992; 197). En ese entonces la planta de neumáticos contaba con 41.000 m², 500 empleados y una capacidad de 500 neumáticos/día (Álamos, 2011).

Con el fin del Pacto Andino para Chile, la planta de neumáticos (en adelante Goodyear Chile) poseía capacidad productiva muy superior a la demanda local, por lo cual se reenfocó la producción para abastecer al mercado europeo, principalmente Francia. En 1986, Goodyear Chile firma un acuerdo con General Motors para abastecer sus plantas de manufactura automotriz en Estados Unidos. Para finales de década, la planta contaba con 1.000 trabajadores y capacidad productiva de 4.000 neumáticos/día.

⁶INSA se formó en 1941 por el Decreto Supremo N° 1684. La demanda local de neumáticos se veía favorecida por el crecimiento de las industrias agrícola, forestal y minera con su alta demanda de transporte de carga a lo largo del país.

En la actualidad, Goodyear Chile cuenta con 93.000 m² (Tapia M. & Cominetti M., 2008), 1.400 empleados y en promedio produce 16.000 neumáticos diarios para automóviles y camionetas (de una capacidad total de 20.000 neumáticos/día)⁶. Es la única empresa que fabrica neumáticos en Chile y captura el 6.7% del mercado puesto que sólo destina el 5% de su producción al mercado local mientras que exporta el resto a Estados Unidos como muestra la Figura 1.

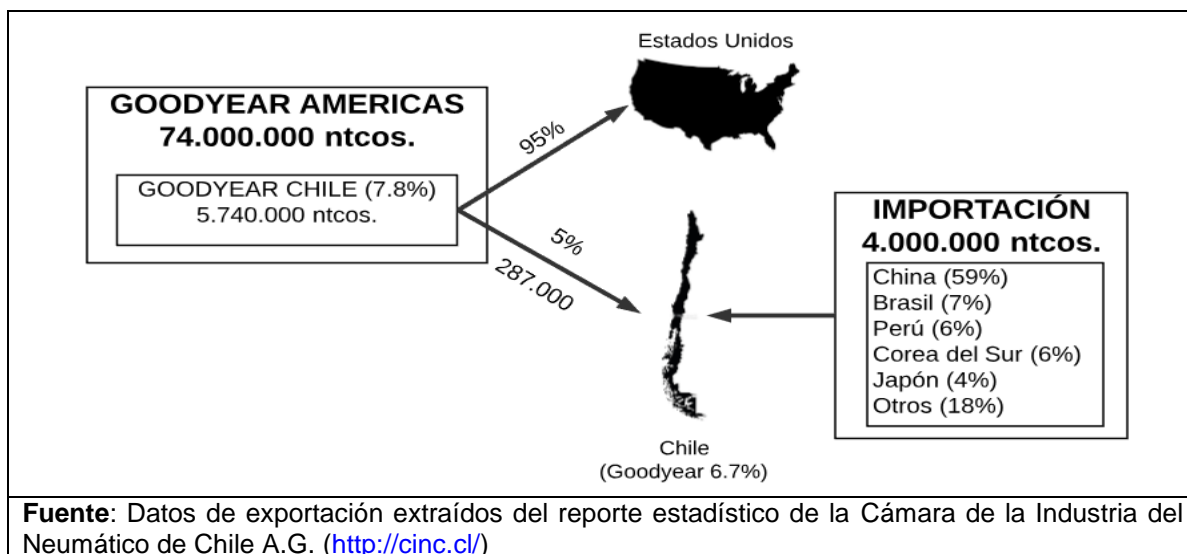


Figura 1. Flujo de neumáticos Goodyear producidos en Chile.

La planta cuenta con certificaciones ISO-9001 (calidad y nivel de servicio), ISO/TS-16.949 (sistema de mejora continua en calidad), ISO-14.000 (medio ambiente) y OSHA-18.000 (seguridad). Además, es parte de la CINC (Cámara de la Industria del Neumático de Chile S.A.) manteniendo acuerdos de producción limpia (APL), respetando Ley de Responsabilidad Extendida de Productor (Ley 20.920) y normas sobre calidad de neumáticos (C y V Medioambiente Ltda., 2008; pp. 43)⁷.

A nivel operativo, la planta utiliza un enfoque *push* de manufactura que responde a las cuotas de producción exigidas por la sede central de Goodyear Americas (Akron)⁸. Esto sumado al trabajo en lote de sus máquinas constructoras (Tire Building Machine) y prensas de vulcanizado, le permiten aprovechar economías de escala.

La producción en planta es continua todo el año, exceptuando fechas puntuales (5 veces al año) también denominadas paradas de planta. Existen 4 grupos de: operarios (de máquina y grúa), inspectores, mecánicos y eléctricos; que trabajan en turnos de 8 hrs rotativos (mañana, tarde y noche) 6x2 (Anexo B, Figura 81). Por su parte, los gerentes, jefes de área y supervisores trabajan en horario de oficina de lunes a viernes.

⁶En Goodyear Chile los neumáticos poseen aros (radio) de entre 15 y 22 pulgadas y pesan entre 15 y 39 libras.

⁷el APL es un convenio de carácter voluntario con organismos públicos de interés ambiental, sanitario, higiene y seguridad laboral, eficiencia energética e hídrica y productividad. Más información en: [http://www.cpl.cl/Acuerdos\(APL\)/](http://www.cpl.cl/Acuerdos(APL)/).

⁸El enfoque *push* es un sistema de producción que responde a la demanda declarada de un cliente.

3. Problemática

Para alcanzar el actual desempeño en calidad y producción, Goodyear Chile a impulsado diversos cambios culturales (Anexo C, Tabla 61), siendo la “Optimización de Planta” el enfoque actual cuyo objetivo es la reducción de desperdicios (Anexo C, Tabla 62). Al respecto, este trabajo se centrará en la reducción de un tipo particular de desperdicio denominado scrap, el cual engloba a todo insumo, productos intermedios o finales que resultan defectuosos y no es posible su reparación. Las razones de esto son:

- Gracias a los sistemas informáticos presentes en la planta, se tiene registro de: el nivel de producción (y por lo tanto de la sobreproducción e inventario), los tiempos ociosos de las máquinas, y la cantidad de productos defectuosos; lo que genera métricas que justifican su atención⁹
- Los niveles de producción en la planta responden a cuotas solicitadas mensualmente desde la sede central (Akron), de lo cual se desprenden los actuales niveles de sobreproducción e inventario (por aplanamiento de la demanda) y parte de los tiempos muertos de las máquinas¹⁰
- La cantidad de productos defectuosos en cambio, es de naturaleza aleatoria (no planificada ni controlada) y desde la sede central (Akron) se establecen mensualmente niveles para su tolerancia (Figura 2)

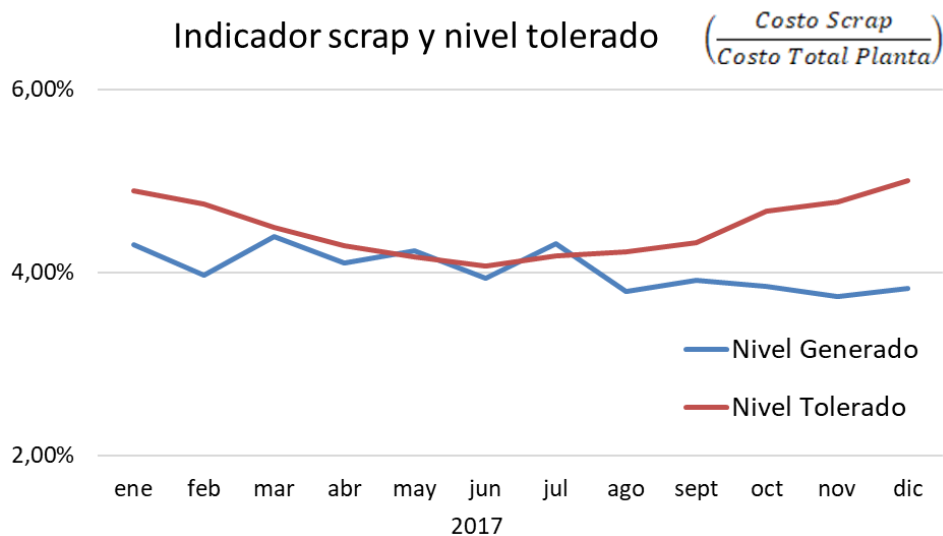


Figura 2. Nivel de scrap generado y nivel tolerado.

⁹Entre los sistemas informáticos de apoyo a la manufactura se encuentran: PMT (Production Monitoring and Traceability), KANBAN (tableros que informan las cuotas de producción a los operarios) y MHH (Material Handling Host; gestiona los movimientos de materiales de producción).

¹⁰ Aplanar la demanda consiste en producir anticipadamente con el fin de distribuir la carga de trabajo de forma similar en el horizonte de planificación.

El nivel de scrap en Goodyear Chile representa un 4% del costo total de planta por efectos de costo hundido (materias primas y energía de conversión utilizada), y provoca además costos de eliminación (transporte y reciclaje) generando un monto final de US\$934.000 al mes. En terminos cualitativos, la generación de scrap, afecta la imagen interna de la planta pues revela a los trabajadores deficiencias de calidad en su entorno perjudicando así la atmósfera de trabajo. De igual forma, se daña la reputación de Goodyear, cuya estrategia de diferenciación es en calidad, frente al cliente y organismos de regulación ambiental que a futuro pueden incidir en mayores costos por eliminación de scrap.

En la actualidad, ingenieros de las áreas de mantención, producción y calidad de Goodyear Chile (Anexo B, Figura 80) se encargan de identificar y atender mediante proyectos semestrales las fuentes generadoras de scrap. Durante el año 2016 se desarrolló un proyecto que mediante una inversión inicial de US\$6.026 generó ahorros mensuales de US\$1.305. De forma similar, en el trabajo de Roa (2016), se logró un ahorro mensual de US\$7.473 con una inversión inicial de US\$18.361. Se busca en este trabajo desarrollar una labor similar para reducir los niveles de scrap, para lo cual se define en el capítulo siguiente los lineamientos generales de trabajo y las limitantes para luego especificar en detalle la metodología de trabajo que se utilizará.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Elaborar una propuesta de mejora que reduzca los niveles de scrap generados en la planta productiva de Goodyear Chile.

4.2. Objetivos específicos

- Acotar la problemática scrap a un subproblema desafiante y abordable como trabajo de memoria
- Identificar y clasificar las causas del subproblema
- Analizar y diseñar alternativas de solución
- Evaluar económicamente las propuestas de mejora
- Establecer un plan de implementación y control de las mejora propuesta

4.3. Alcances

La problemática abordada en este trabajo se restringe a la planta productiva Goodyear Chile en donde se fabrican neumáticos para automóviles, motocicletas y camionetas. La ejecución del trabajo es de carácter unipersonal y se contempla un periodo de 1 año para su desarrollo por lo que se descartan fases de implementación, seguimiento y evaluación final. Los datos utilizados fueron extraídos de los sistemas de información internos y levantados en planta durante el año 2017 y están sujetos a reglas de confidencialidad, razón por la cual: sólo se expondrán valores relativos (agregados y no absolutos); los diagramas de proceso serán acotados y adaptados para describir lo exclusivamente relevante para este trabajo; y se utilizarán, en su mayoría, fotografías externas equivalentes a las que podrían tomarse en la planta Goodyear Chile.

5. Marco teórico

A continuación, se listan y describen las herramientas de investigación que serán incorporadas a la metodología de trabajo. Junto al aprendizaje académico, se utilizó a Climent (2003) y Chase et al. (2009) como referencia para seleccionar y describir las siguientes herramientas.

5.1. Levantamiento de información

Para definir el problema, seguimiento de causas y control de la solución, se recopilarán datos de las siguientes fuentes de información:

- Entrevistas: a operarios, jefes de turno y a especialistas de calidad, mantención y producción
- Registros multimedia: fotografías y filmaciones a procesos y productos
- Base de datos: reportes operacionales de sistemas informáticos
- Muestreo: toma de datos cualitativos y cuantitativos en terreno sin intervención.

5.2. Gráficas Pareto, estratificación e histogramas

Las gráficas Pareto permiten asignar prioridad a los problemas, causas o soluciones de mayor impacto según un criterio cuantitativo (costo, frecuencia, criticidad). De forma análoga, los gráficos de estratificación permiten segregar la información según criterios cualitativos (modelo neumático, tamaño neumático, tipo de máquina, tipo de scrap, etc.). En ambos casos los ítems se ordenan de manera decreciente para reconocer un punto de inflexión y escoger las pocas causas más importantes. Por su parte los histogramas permiten visualizar la distribución (frecuencia y/o probabilidad de ocurrencia) de una o más variables asociadas a datos muestrales o poblacionales.

5.3. Matriz de evaluación y selección

Tabla que permite escoger un problema, causa o solución entre una lista de alternativas utilizando criterios de evaluación como son: factibilidad técnica, factibilidad económica (beneficio/costo), complejidad y relevancia. Para poder comparar las alternativas se requiere estandarizar los criterios asignándoles pesos y puntajes de modo de obtener una calificación final para cada alternativa y poder jerarquizarlas.

5.4. Intervalos de confianza

Herramienta estadística que restringe a un rango de valores, el parámetro real de una variable observada. El fundamento teórico para usar esta herramienta es el Teorema Central del Límite (Rice, 2007), en el cual se estandariza un estadístico (variable auxiliar observada) para obtener una distribución Normal Estandar ($\mathcal{N}(0,1)$). En este informe se utilizarán intervalos de confianza para analizar la diferencia de variables aleatorias Bernoulli como se detalla a continuación:

Parámetros

A: Aspecto categórico de la variable observada, por ejemplo, el tamaño de los neumáticos o la línea de producción de origen.

B: Aspecto categórico alternativo (punto de comparación).

N_A : Tamaño muestral de la variable observada en la categoría *A*.

N_B : Tamaño muestral de la variable observada en la categoría *B*.

Variables

$X_i^A = \begin{cases} 1 & \text{si el neumático observado } i \text{ asociado a la característica } A, \text{ resultó dañado} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$

$X_i^A \sim \text{Bernoulli}(p_A)$

$X_i^B = \begin{cases} 1 & \text{si el neumático observado } i \text{ asociado a la característica } B, \text{ resultó dañado} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$

$X_i^B \sim \text{Bernoulli}(p_B)$

$Y^A = \sum_{i=1}^{N_A} X_i^A$; $Y^A \sim \text{Binomial}(N_A, p_A)$

$Y^B = \sum_{i=1}^{N_B} X_i^B$; $Y^B \sim \text{Binomial}(N_B, p_B)$

Identidades

$$\mathbb{E}(X_i^A) = p_A$$

$$\mathbb{E}(Y^A) = N_A * p_A$$

$$\mathbb{V}(Y^A) = N_A * p_A * (1 - p_A)$$

$$\mathbb{E}(X_i^B) = p_B$$

$$\mathbb{E}(Y^B) = N_B * p_B$$

$$\mathbb{V}(Y^B) = N_B * p_B * (1 - p_B)$$

Estimadores y estadístico Z

$$\widehat{p}_A = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_A} X_i^A = \frac{Y^A}{N_A}$$

$$SE(\widehat{p}_A) = \sqrt{\frac{\widehat{p}_A(1-\widehat{p}_A)}{N_A}}$$

$$Z = \widehat{p}_A - \widehat{p}_B$$

$$\mathbb{E}(Z) = p_A - p_B$$

$$\mathbb{V}(Z) = \frac{\widehat{p}_A(1-\widehat{p}_A)}{N_A} + \frac{\widehat{p}_B(1-\widehat{p}_B)}{N_B}$$

$$\widehat{p}_B = \frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^{N_B} X_i^B = \frac{Y^B}{N_B}$$

$$SE(\widehat{p}_B) = \sqrt{\frac{\widehat{p}_B(1-\widehat{p}_B)}{N_B}}$$

Donde se utilizó el promedio (\hat{p}) como estimador insesgado del valor esperado de la variable Bernoulli, en base al cual además se estimó el error estandar ($SE(\hat{p})$). Aplicando el Teorema Central del Límite al estadístico Z se obtiene la expresión para el intervalo de confianza al $(1 - \alpha)\%$.

Teorema Central del Límite e Intervalo de confianza.

$$\frac{Z - E(Z)}{\sqrt{V(Z)}} \sim \mathcal{N}(0,1) \quad IC_{\alpha}(p_A - p_B) = [Z - z_{\alpha}\sqrt{V(Z)} , Z + z_{\alpha}\sqrt{V(Z)}]$$

$z_{1\%} = 2,58$
 $z_{5\%} = 1,96$
 $z_{10\%} = 1,64$

De este modo, si el valor 0 no pertenece al intervalo, entonces con un nivel de significancia de α , se puede afirmar que existe una diferencia entre las variables X_i^A y X_i^B debido al rasgo categórico. Dicho en otras palabras, con probabilidad $(1 - \alpha)$, los neumáticos de la categoría A resultan significativamente más (o menos, según el signo del parámetro) dañados que los de la categoría B.

5.5. Diagramas de flujo

Son una representación esquemática de como ocurren los procesos de transformación. Permiten comprender de manera sencilla la secuencia de actividades y decisiones que ocurren en los procesos lo que facilita: identificar problemas y oportunidades de mejora; rediseñar los procesos; y capacitar a los actores involucrados.

5.6. Los 5 por qué

Es una herramienta de análisis para la resolución de problemas. Consiste en cuestionar sucesivamente el origen de un problema con el fin de identificar la causa raíz. Conocer la causa raíz o intermedias facilita diseñar propuestas de solución al problema. Teóricamente se puede identificar una causa raíz o propuesta de mejora clara al quinto “por qué” pero esto puede ocurrir antes o después.

5.7. Diagramas de causa y efecto

Creado por el ingeniero japonés Ishikawa en 1943, es una representación gráfica que entrega una rápida y fácil visualización de un problema y sus causas. Se construye definiendo el problema central, y luego agrupando las posibles causas según su naturaleza: mano de obra, material, máquina, medición, método y ambiente. Además, se pueden añadir sub causas que gráficamente dan aspecto de “espina de pescado” al diagrama como se muestra en la Figura 3.

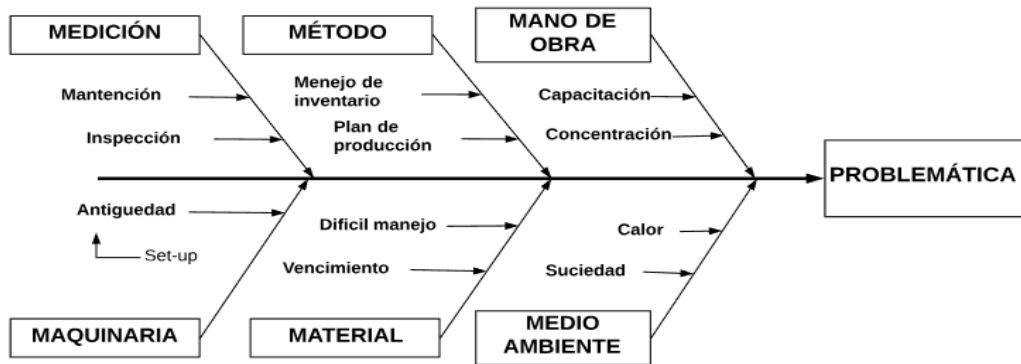


Figura 3. Diagrama de Ishikawa.

5.8. Evaluación económica

Para evaluar monetariamente el proyecto se utilizará el modelo de Valor Actual Neto (VAN) de la Tabla 1, el cual representa un indicador de rentabilidad y lo permite comparar con otros proyectos de similares características. En su expresión, se reconoce una inversión inicial (I_0) al comienzo del horizonte de evaluación, y flujos de dinero ($A_t - C_t$) llevados a valor presente mediante una tasa de descuento ($1/(1+r)^t$). El cálculo del VAN permite además conocer la Tasa Interna de Retorno (TIR) como indicador adicional de rentabilidad, el cual representa la tasa de descuento a la cual el VAN resulta cero.

Tabla 1. Modelo del Valor Actual Neto.

Variables y parámetros	Valor Actual Neto
I_0 : Inversión inicial A_t : Ahorro del periodo t C_t : Costo del periodo t r : Tasa de descuento	$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{A_t - C_t}{(1+r)^t}$

Adicionalmente, se computará el flujo acumulado de cada periodo como se muestra en la Tabla 2. Esto permitirá reconocer el mes en que se recupera la inversión inicial, es decir, el periodo t en que el flujo acumulado pasa de ser negativo a positivo. A este periodo t se le conoce como *payback*, y al igual que el VAN y la TIR permite ecomparar y evaluar el proyecto.

Tabla 2. Flujo acumulado.

Variables y parámetros	Flujo acumulado del periodo t
I_0 : Inversión inicial A_i : Ahorro del periodo i C_i : Costo del periodo i	$F_t = -I_0 + \sum_{i=1}^t (A_i - C_i)$

6. Marco metodológico

En esta capítulo se presenta la metodología de trabajo que será utilizada para abordar la problemática scrap, rescatando lo que proponen Six-Sigma, PDCA, KAIZEN y BPR como esquemas de mejora en calidad, y adaptándolo a los objetivos y alcances de este trabajo.

6.1. Revisión de metodologías

Para los proyectos de mejora en calidad que desarrolla Goodyear Chile, y en trabajos similares como en Roa (2016) y Delgado (2015), se ha utilizado el ciclo DMAIC de la metodología Six-Sigma aprovechando su enfoque estructurado que facilita una ordenada ejecución (Tabla 3). En dichas experiencias además, se declara que esta metodología favorece la conformación de quipos para el desglose de tareas y resulta efectivo para generar ahorro en costos scrap, mejorar productividad y tiempos de entrega al cliente. Esto sin dejar de lado las siguientes dificultades de la metodología:

- Exige gran trabajo en terreno para la recopilación de datos
- Requiere esfuerzos para coordinar la discusión y tareas del equipo ejecutor
- Requiere el apoyo de la alta dirección para ejecutar las intervenciones de inspección e implementar las propuestas de mejora
- Requiere el apoyo de los operarios de planta a fin de comprender mejor los procesos

Tabla 3. Ciclo DMAIC de la metodología Six-Sigma.

6σ (DMAIC): reducir la variación y/o defectos generados en los procesos productivos utilizando análisis estadístico (Delgado, 2015). Como su nombre lo sugiere, este enfoque propone que los procesos mantengan un rendimiento de calidad tal que en el margen de conformidad alcancen 6 desviaciones estándar. Para su implementación propone el ciclo DMAIC que consta de 5 etapas (McCarty et al., 2005; Ocampo & Pavón, 2012):	
Etapas	Descripción
Define	Se identifican proyectos de mejora y se escogen aquellos de mayor impacto
Measure	Se identifican los parámetros y variables que intervienen en el proceso a fin de entenderlo íntegramente
Analyze	Se identifican posibles causas que inciden en la problemática y se evalúa su impacto
Improve	Se diseñan alternativas de solución que son llevadas a la práctica y validadas
Control	Se elaboran planes que permitan sostener las contramedidas en el tiempo

Similar al ciclo DMAIC de la metodología Six-Sigma, existen 2 esquemas de trabajo convenientes de revisar. El primero de ellos es KAIZEN, que mediante su ciclo de mejoramiento continuo, expuesto en la Tabla 4, provee un mayor desglose de actividades que el modelo DMAIC. El segundo corresponde al modelo Plan-Do-Check-Act que por el contrario, agrupa aún más las etapas de mejora como se expone en la Tabla 5. De este modo, mientras que DMAIC y PDCA secuencian el proyecto de manera simple y agregada, KAIZEN provee el desglose de actividades claves para cada etapa.

Tabla 4. Ciclo de mejoramiento continuo KAIZEN.

KAIZEN: mejoramiento continuo de los procesos de negocio (producción, ventas, finanzas, etc.) involucrando para ello a toda la organización (Romero, 1994). Su éxito se apoya en la autogestión de los trabajadores para ser responsables y alcanzar la excelencia mediante “pequeñas mejoras continuas”. Su implementación consta de las siguientes etapas (Peña & Mendoza, 2009):	
Etapas	Descripción
1	Definir el problema y el estado deseado
2	De las áreas involucradas, seleccionar cuál se mejorará
3	Generar ideas de solución
4	Evaluar ideas
5	Diseñar sistema de medición que evalúe el desempeño de las soluciones escogidas
6	Se listan las actividades necesarias para implementar la solución
7	Se planifica la realización de las actividades
8	Se implementan las soluciones
9	Se incorporan mejoras al proceso de implementación y se estandariza
10	Se mide el desempeño de las soluciones a partir del diseño hecho en el punto 5
11	Se analiza el resultado obtenido

Tabla 5. Ciclo de trabajo PDCA.

PDCA: mejora continua de las organizaciones en cuanto a calidad y producción (Climent, 2003). Su implementación consta de un ciclo de 4 etapas diseñado por Walter Shewhart en 1939 y que fue llevado a la práctica en Japón por Edwards Deming, por esta razón se denomina ciclo Shewhart o ciclo Deming.	
Etapas	Descripción
Plan	Identificar proyectos de mejora, seleccionar tema y definir objetivos, documentar situación actual, analizar los datos recogidos, identificar causas y elaborar plan de mejora
Do	Definir medios para aplicar el plan de mejora, escoger y capacitar al equipo ejecutor y aplicar el plan
Check	Contrastar los resultados obtenidos con las hipótesis planteadas
Act	En caso de éxito se definen e implementan las acciones que mantengan la mejora generada; en caso contrario redefinir el proyecto regresando a la primera etapa

Además en la actualidad, con el auge de las TICs, ha cobrado relevancia el Rediseño de Procesos de Negocios, que a diferencia de las metodologías ya citadas, promueve la innovación para conseguir: resultados radicales, de mayor riesgo, implementados en el largo plazo y coherentes con los lineamientos estratégicos (Davenport, 1993). En su ejecución, resumida en la Tabla 6, se incorporan temas de interés actual como el comportamiento organizacional y los sistemas informáticos.

Tabla 6. Etapas del Rediseño de Procesos de Negocio.

BPR: busca mejorar la eficiencia (calidad, servicio, costos, rapidez) de los procesos de negocio (actividades con fin comercial definido) realizando un análisis global y sistémico del problema (secuencia de tareas, actores involucrados y la interacción entre unidades de negocio) (Muthu et al., 1999; Malhotra, 1998). Para su implementación, Kettinger (1999) propone una estructura de 6 etapas.	
Etapas	Descripción
Visión	Establecer el compromiso y visión de la organización, identificar oportunidades de mejora y seleccionar el proceso que se atenderá
Inicio	Informar a los involucrados de la alta gerencia, formar equipo de trabajo, planificar proyecto, determinar clientes, definir metas
Diagnóstico	Documentar el proceso, analizar los datos
Rediseño	Desarrollo del nuevo diseño considerando actividades, estructura humana y sistemas de información
Reconstrucción	Reordenar el proceso a la nueva estructura migrando los sistemas informáticos y capacitando al personal
Evaluación	Monitorear el desempeño del cambio y verificar cumplimiento de las metas propuestas

6.2. Diseño

Tabla 7. Etapas de implementación de metodologías de gestión de calidad.

Kaizen	6σ	PDCA	BPR
1,2	Definir	Plan	Visión, Inicio
	Medir		Diagnóstico
	Analizar		
3,4	Mejorar	Do, Check	Rediseño, Reordenar
5,6			
7,8			
9	Controlar	Act	Evaluación
10,11			

La Tabla 7 resume la fases de ejecución de las diferentes metodologías revisadas. Al respecto se utilizará un esquema transversal que descarte las etapas de ejecución, control y evaluación final, para así escalar el proyecto a un trabajo unipersonal ejecutable en el periodo de 1 año. A continuación, se listan las etapas de la metodología diseñada, las actividades a realizar y las herramientas que serán utilizadas.

DEFINIR PROYECTO	
Actividades	Herramientas
Identificar objetivos e intereses de la organización o subárea atendida	Entrevista a: Gerente calidad
Identificar oportunidades de mejora	Base de datos: histórico de scrap generado Gráficas Pareto
Seleccionar tema	Matriz de evaluación y selección
Definir metas del proyecto	
Considerando las etapas: 1-2 de Kaizen, Definir de Six-Sigma, Plan de PDCA y Visión-Inicio de BPR.	

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	
Actividades	Herramientas
Documentar el proceso	Entrevista a: Ingenieros de calidad, mantención, producción y operarios de zona vulcanización Registros multimedia y medición en terreno
Caracterización del problema	Entrevistas, Base de datos (registro diario de scrap) Muestreo y registros multimedia
Considerando las etapas: Medir Six-Sigma, Plan PDCA y Diagnóstico BPR.	

ANÁLISIS DE CAUSAS	
Actividades	Herramientas
Hipótesis del problema	Base de datos: histórico de producción y de scrap Intervalos de confianza, muestreo y registros multimedia
Determinar las causas de la problemática	Entrevista y lluvia de ideas con: Ingenieros de calidad, mantención, producción y operarios de zona vulcanización Diagramas de causa y efecto, 5 por qué
Considerando las etapas: Analizar de Six-Sigma y Plan de PDCA.	

PROPUESTAS DE MEJORA	
Actividades	Herramientas
Diseñar alternativas de mejora en base a las causas detectadas	Lluvia de ideas con: Ingenieros de calidad, mantención, producción y operarios de zona vulcanización Diagrama de flujo
Evaluar propuestas de mejora	Evaluación económica
Considerando las etapas: 3-4 de Kaizen, Mejorar de Six-Sigma, Plan de PDCA y Rediseño de BPR.	

PLAN DE EJECUCIÓN Y SEGUIMIENTO	
Actividades	Herramientas
Establecer secuencia de actividades	Matriz de evaluación
Listar indicadores para monitorear desempeño de las propuestas	
Considerando las etapas: 5-6-7 de Kaizen, Do de PDCA y Reconstrucción de BRP	

7. Definición de proyecto

En este capítulo se limita la problemática scrap a un proyecto ejecutable en el periodo de memoria (1 año), que guarde relevancia para Goodyear y para el uso de herramientas de gestión de calidad.

7.1. Intereses del área de calidad

El departamento de calidad de Goodyear Chile esta a cargo de la problemática scrap debiendo evitar que la cantidad mensual no supere los límites impuestos desde Goodyear Americas (Akron). Para monitorear esto se considera el costo hundido scrap como porcentaje del costo total de planta. La Figura 4 expone el desempeño durante el año 2017 y revela incumplimiento durante los meses de mayo y julio.

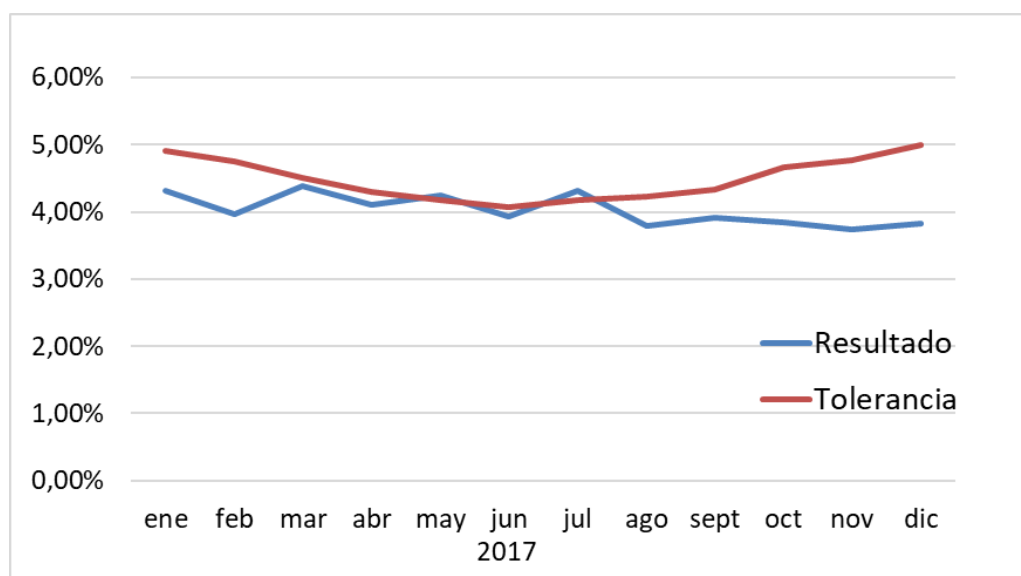


Figura 4. Cumplimiento del scrap generado en Goodyear Chile.

En base al límite de tolerancia, el gerente de calidad comunica a los ingenieros de cada etapa del proceso productivo, la cantidad de scrap que puede llegar a generar. Los ingenieros a su vez deben discutir la viabilidad de cumplir las metas y en caso contrario deben reasignarse los montos. En este punto es donde se enfrentan los intereses de cada área y cobra mayor importancia la problemática scrap.

7.2. Oportunidades de mejora

La Figura 5 expone las etapas requeridas para confeccionar un neumático. A continuación se describe cada una de ellas a fin de introducir conceptos y contextualizar la generación de scrap.




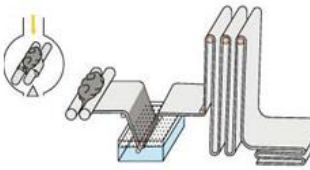


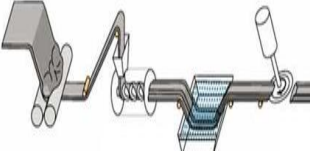


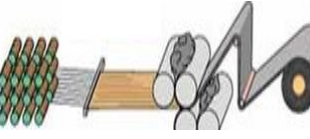


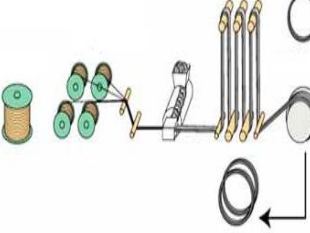
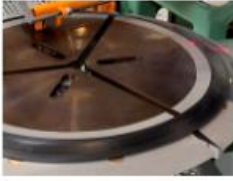
Figura 5. Proceso productivo de neumáticos.

7.2.1. Proceso productivo

1) Preparatoria

En la etapa de preparatoria se procesan las materias primas que conformarán las componentes de los neumáticos. Se reconoce caucho natural, caucho sintético, textiles (poliéster y nylon), alambre de acero y aditivos químicos que aceleran el proceso y modifican propiedades físicas. El proceso comienza con la mezcla de caucho y químicos en molinos, lo que crea láminas de goma de caucho. Una fracción de las láminas se moldean en una máquina llamada extrusora dando como resultado 3 componentes: cojines, laterales y bandas. La otra fracción de goma de caucho se combina con alambre de acero (máquinas calandra y apexer) para formar 2 componentes adicionales: breaker y pestañas. Por último, se listan 2 rodillos de telas que completan las 7 componentes de los neumáticos.

Tabla 8. Proceso de preparatoria.

Pasos	Maquinaria	Esquema	Resultado
Mezcla	<p data-bbox="488 300 716 331">Molino (Bunbury)</p> 		<p data-bbox="1149 300 1377 331">Goma de caucho</p> 
Extrusión	<p data-bbox="537 730 667 762">Extrusora</p> 		<p data-bbox="1230 720 1300 751">Cojín</p> 
Calandra	<p data-bbox="537 1073 667 1104">Calandra</p> 		<p data-bbox="1214 1125 1317 1157">Breaker</p> 
Apexer	<p data-bbox="553 1524 651 1556">Apexer</p> 		<p data-bbox="1198 1545 1317 1577">Pestañas</p> 

2) Construcción

La etapa de construcción consiste en ensamblar las componentes de los neumáticos en máquinas TBM (Tire Building Machine), las cuales cuentan con 2 cilindros que le permiten comenzar a ensamblar un neumático mientras otro ya está finalizando. De esta forma poseen un tiempo de ciclo aproximado de 2 minutos por neumático. En Goodyear Chile existen 24 máquinas constructoras que representan una capacidad productiva total de 720 neumáticos por hora. El producto de esta etapa se denomina **neumático en verde** y es inspeccionado visualmente para separar el scrap y enviar el resto a la zona de vulcanización.

Tabla 9. Proceso de construcción.

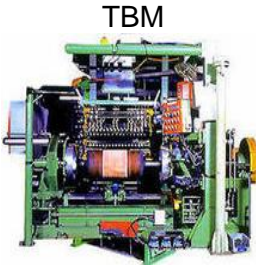
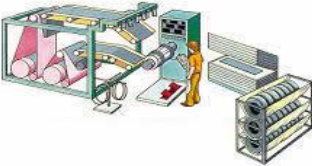
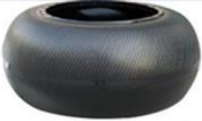
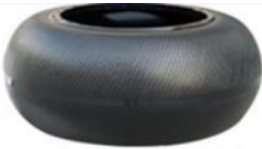
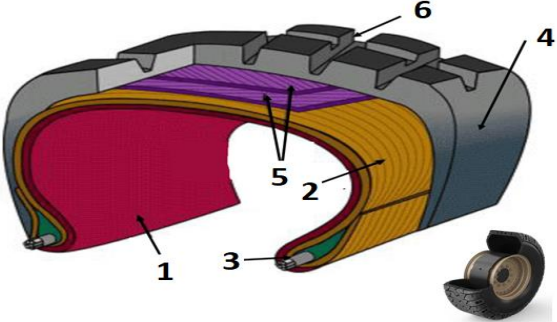
Etapa	Máquina	Esquema	Resultado
Construcción	 <p>TBM</p>		




Tabla 10. Composición de los neumáticos.

Resultado	
	
1. Cojín	Goma de caucho interior que soporta los cambios de presión de aire del neumático.
2. Telas	Dos capas de tela superpuestas al cojín que confieren mayor resistencia y lo separan del breaker.
3. Pestañas	Alambres recubiertos de caucho en forma de anillos que permiten al neumático mantener su forma de anillo.
4. Laterales	Capa de caucho que brinda resistencia a los golpes laterales del neumático.
5. Breakers	Capa de alambres recubiertos de caucho que brindan firmeza externa.
6. Banda	Capa exterior de caucho que extiende la vida útil del breaker y entrega tracción al neumático.
Observación: las hendiduras de la banda central se realizan en la etapa de vulcanización.	

3) Vulcanización

A temperatura ambiente baja los neumáticos en verde se vuelven tiesos y frágiles, mientras que a altas temperaturas se tornan blandos y pegajosos (Stevenson, 2012). Para mejorar esta situación se realiza el proceso de vulcanización, descubierto por Charles Goodyear (GUM-ELASTIC AND ITS PROPERTIES, 1853), el cual confiere mayor dureza y resistencia al caucho al exponerlo a vapor de azufre a altas temperaturas.

Tabla 11. Proceso de vulcanización.





Etapa	Máquina	Esquema	Resultado
Vulcanización	<p data-bbox="586 562 680 594">Prensa</p> 		

En la planta existen 119 prensas que funcionan con 2 cavidades de curado, permitiendo en el mejor de los casos la vulcanización de 238 neumáticos en paralelo. En promedio la vulcanización tarda 14 minutos, por lo que la capacidad de curado total es de 1.020 neumáticos por hora. Luego de salir de las cavidades, los **neumáticos vulcanizados** se transportan mediante correas automatizadas que los enfrían (por reposo) y llevan a una segunda inspección visual (para segregar el scrap).

4) Testeo

Los neumáticos que resultan conforme y/o reparados en la inspección post-vulcanización, se transportan por conveyer (correas transportadoras en alto) para ser testeados en 2 aspectos. En primer lugar, los neumáticos ingresan a máquinas forzadoras que evalúan la uniformidad de resistencia del neumático. Luego los neumáticos se depositan en máquinas osciladoras que verifican su correcto balance. Por último, los neumáticos son llevados a la bodega final. Si los neumáticos resultan fuera de especificaciones en los test (resistencia y balance), son enviados a una estación de inspección en que se decide si pueden ser reparados (usando máquinas pulidoras) o si se clasifican como scrap. En caso de reparado, los neumáticos se reinsertan en las máquinas de testeo.

Tabla 12. Proceso de testeo.

Etapa	Máquina	
Forzadoras	Forzadoras 	
Balanceo	Balanceadoras 	
Inspección Final	Inspección 	Pulido automático 

7.2.2. Generación de scrap

El scrap (producto defectuoso irreparable) generado en el proceso productivo de Goodyear Chile se divide en: componentes, neumáticos en verde y neumáticos vulcanizados (o curados); los que son detectados en las inspecciones visuales (post-construcción, post-vulcanización y post-testeo). El scrap de componentes se cuantifica en kilogramos, mientras que el scrap de neumáticos en verde y curado se hace en unidades como muestra la Figura 6 donde un 1,8% de la producción verde y curada finaliza como scrap.

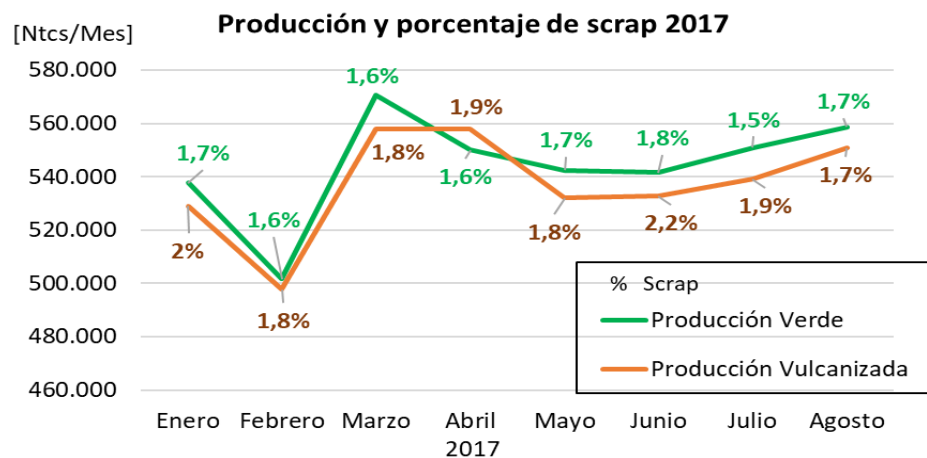


Figura 6. Nivel de scrap verde y curado.

En la Figura 7 se expone el costo hundido que genera cada tipo de scrap en la planta, siendo el de mayor impacto el de neumáticos vulcanizados debido a que se invirtió más energía y materiales en su elaboración. Además, para eliminar el scrap curado se debe pagar a una empresa externa para su transporte y reciclaje, no así con el scrap verde ni de componentes que poseen un valor residual y pueden venderse. Por consiguiente, el scrap curado resulta el más relevante de atender en estos momentos.

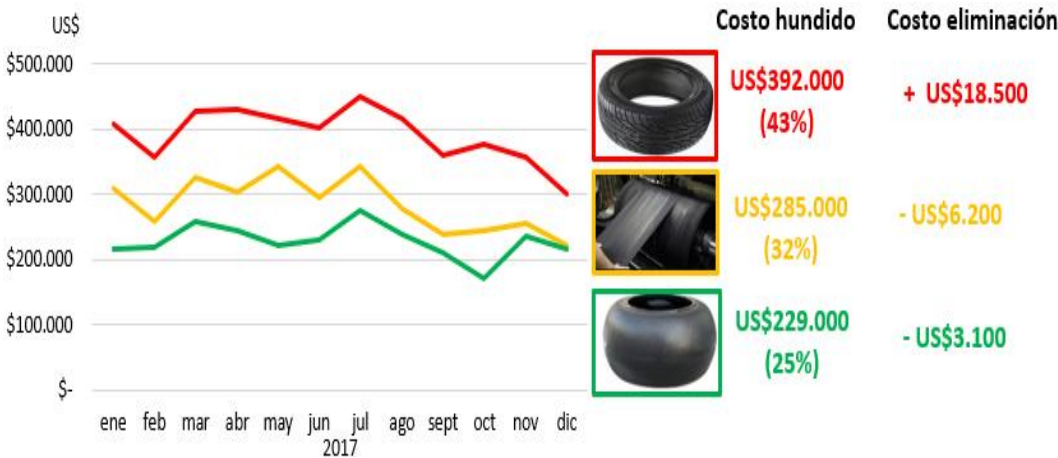


Figura 7. Costo hundido y de eliminación mensual, por tipo de scrap generado.

En la actualidad se han diferenciado 137 fallas que generan el scrap curado y cuyo impacto monetario asciende a US\$410.000 al mes. Esto representa la primera condición adversa del problema puesto que el ahorro potencial de atender una sola falla scrap se reduce sinificativamente. Para abordar este escenario, y al igual como se realiza en proyectos internos de Goodyear Chile, se utiliza la gráfica pareto de la Figura 8 en donde se reconocen las fallas más críticas, en este caso, las 14 primeras que generan más del 50% (US\$213.000) del costo scrap y tienen un impacto individual mayor a 2% (US\$8.700).

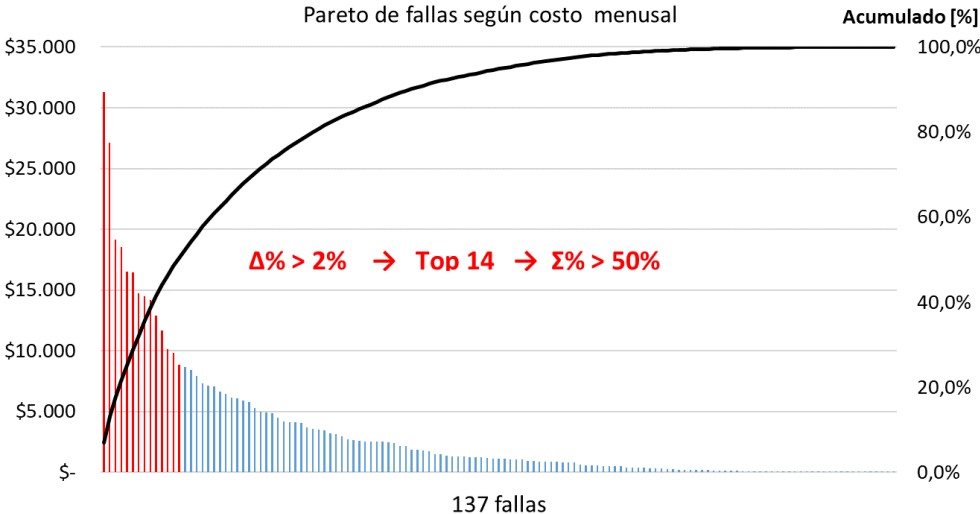


Figura 8. Pareto de fallas generadoras de scrap curado.

El detalle de las fallas más críticas se presenta en la Tabla 13, estando la mayoría de ellas actualmente atendida en un proyecto de mejora. Resaltan por su alta complejidad las fallas 1,2 y 10 detectadas en las máquinas testeadoras, cuyo daño (imperceptible al ojo humano) pudo ocurrir en cualquier momento del proceso productivo o bien por propagación de materiales y/o procesos con errores mínimos. Por el contrario existen muchas fallas cuya causa origen esta bien definida y asociada a un defecto mecánico (3, 4, 5 y 13) o suciedad del ambiente (6, 8 y 9). Finalmente las fallas con dificultad media, se conoce la etapa del proceso productivo en que ocurren, pero se desconoce su causa origen (7, 11, 12 y14).

Tabla 13. Matriz de selección de falla.

N°	Nombre Falla	Detección	Costo scrap	Impacto	Disponibilidad	Complejidad
1	Primera Harmónica fuera de límites	Testeo	US\$30.900	7,0%	Atendida por calidad	Alta
2	Fuerza Radial fuera de límites	Testeo	US\$26.700	6,1%	Atendida por calidad	Alta
3	Filtración Bladder	Vulcanización	US\$18.900	4,3%	Atendida por mantenimiento	Baja
4	Falla prensa	Vulcanización	US\$18.300	4,1%	Atendida por mantenimiento	Baja
5	Neumático mal cargado	Vulcanización	US\$16.300	3,7%	Atendida por mantenimiento	Baja
6	Materia extraña en calandra	Preparatoria	US\$16.300	3,7%	Atendida por calidad	Baja
7	Daño en transportadora	Vulcanización	US\$14.600	3,5%	Disponible	Media
8	Materia Extraña en Extrusión	Preparatoria	US\$14.300	3,2%	Atendida por calidad	Baja
9	Materia Extraña en Vulcanización	Vulcanización	US\$14.000	3,2%	Atendida por calidad	Baja
10	Fuera de Balanceo	Testeo	US\$12.800	2,9%	Disponible	Alta
11	Cuerdas abiertas	Preparatoria	US\$11.500	2,6%	Atendida por calidad	Media
12	Grieta en lateral negro	Construcción	US\$10.000	2,3%	Disponible	Media
13	Doble de Bladder	Vulcanización	US\$9.700	2,2%	Disponible	Baja
14	Lateral negro ampollado	Construcción	US\$8.700	2,0%	Atendida por calidad	Media

Observación: La detección indica la etapa del proceso en que se reconoce los efectos de la problemática, que en la mayoría de los casos es ocasionada en dicha etapa.

7.3. Selección del tema

De las 4 fallas más críticas y sin atención actualmente, se escoge la número 7 (**Daño en Transportadora**) por ser la de mayor impacto, y poseer una dificultad media favoreciendo así su resolución por medio de herramientas de gestión de calidad en un periodo máximo de 1 año. Además, la falla ha presentado una tendencia creciente pese a que los niveles de producción mensual se han mantenido similares como se aprecia en la Figura 9, de modo que su atención cobra cada vez mayor importancia.

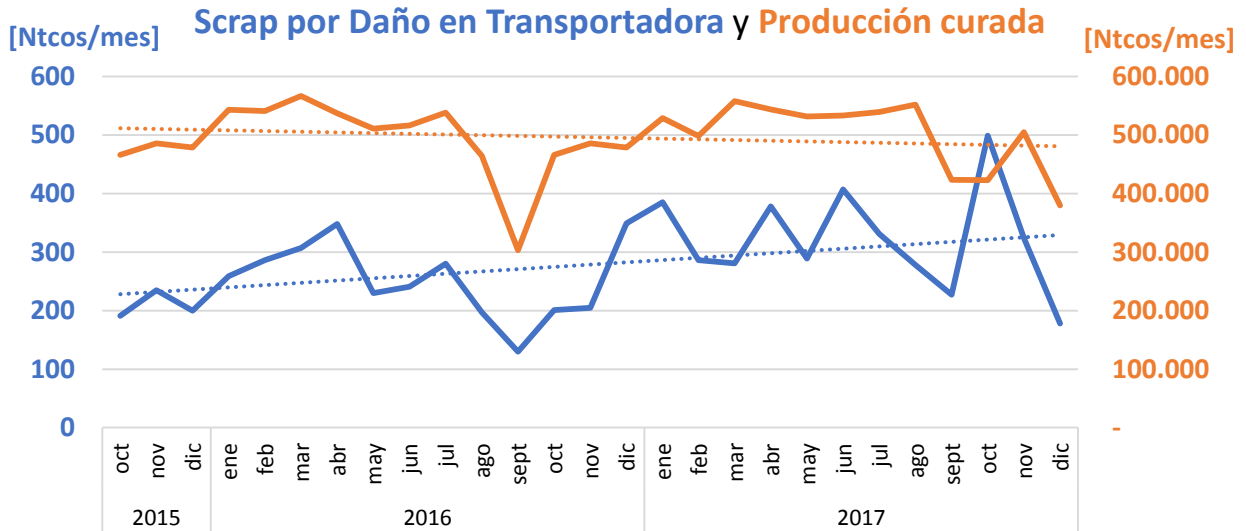


Figura 9. Nivel de scrap por falla Daño en Transportadora y producción curada.

7.4. Metas del proyecto

El proyecto busca identificar las causas que generan el **Daño en Transportadora** y diseñar contramedidas para cancelar o reducir su impacto. El potencial ahorro mensual de resolver esta problemática es de US\$14.600 que incluye ahorro de costos hundidos y eliminación, pero a esto se le suma el posible impacto positivo en otras fallas y un mejor diseño para futuras extensiones. Se espera alcanzar ahorros del orden de magnitud de los US\$1.000 a US\$10.000 mensuales como se logró en proyectos similares: US\$6.026 (Goodyear Chile) y US\$ 1.305 (Roa, 2016).

8. Levantamiento de información

Se clasifica teóricamente por **Dañado en Transportadora** a aquellos neumáticos que posterior a su correcta vulcanización son transportados a la zona de testeo y resultan dañados (deformación y/o deterioro). En este capítulo se detalla como ocurre el proceso de transporte y se describe el tipo de daño que sufren los neumáticos para finalmente establecer hipótesis sobre las causas que generan tales daños. Además, en lo que sigue, se utilizará el termino scrap para aludir exclusivamente a la falla escogida, a menos que se detalle lo contrario.

8.1. Descripción del proceso de transporte

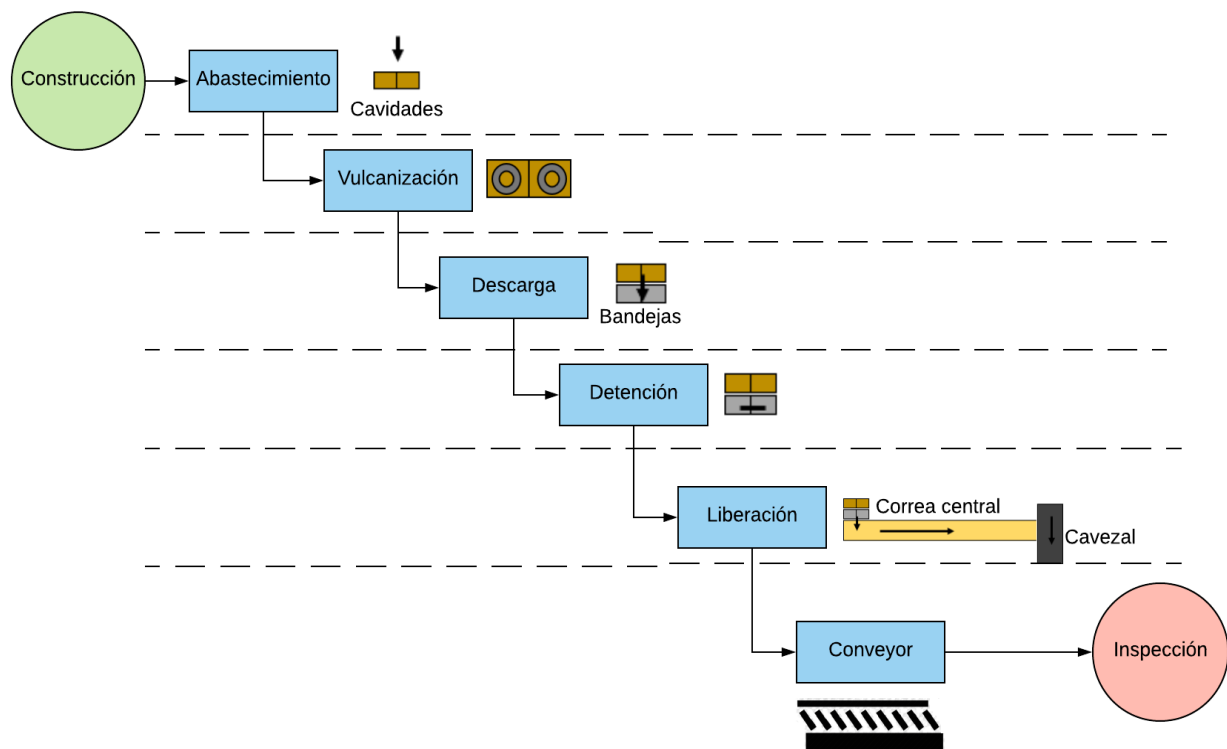


Figura 10. Etapas el proceso de transporte.

La Figura 10 expone las etapas del proceso de transporte de neumáticos vulcanizados que serán descritas a continuación. Los conceptos de **descarga**, **detención** y **liberación** continuarán siendo utilizados en el informe, siempre aludiendo a la definición que se les dará en este apartado.

8.1.1. Abastecimiento

Luego de la construcción de neumáticos, los ejemplares son transportados a prensas de vulcanización dispuestas a lo largo de 6 líneas como muestra la Figura 11. El transporte a prensas es por defecto mediante conveyor (correas transportadoras superiores), sin embargo, la mayor parte del tiempo el transporte es mediante carros arrastrados por grúas horquilla debido a la limitada capacidad de los conveyors. El despacho desde conveyor converge a las líneas 600, 500 y 400B mediante un robot que deposita los neumáticos en pedestales de prensa. En cambio, los neumáticos movilizados en carro, se sitúan a lo largo de las líneas (incluyendo las 600, 500 y 400B) para que el operario de turno los cargue a los pedestales.

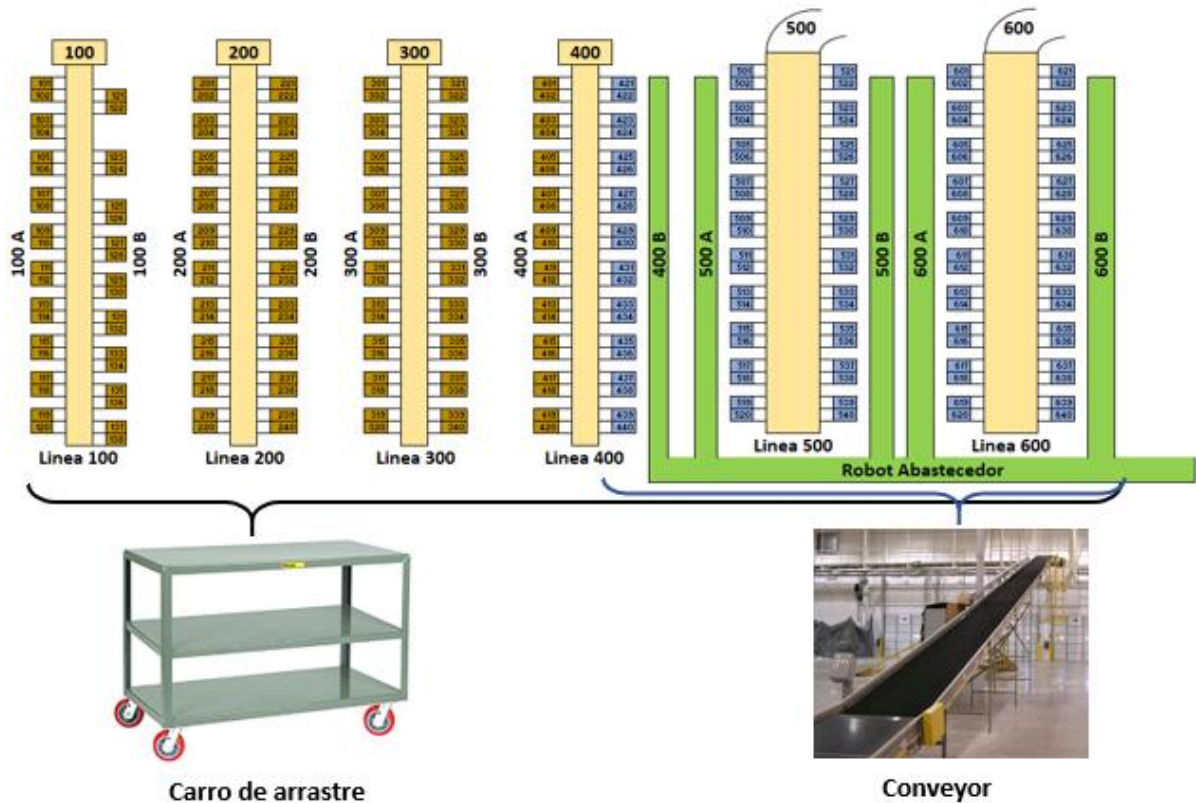


Figura 11. Líneas de prensa.



Figura 12. Carga de neumáticos en prensa.

Los neumáticos en verde permanecen en los pedestales hasta la llegada del operario de línea quien los escanea y eleva activando el cargador de prensa donde reposan a la espera de ser vulcanizados (Figura 12). En seguida, el operario deposita un nuevo neumático en verde sobre el pedestal, lo escanea y se retira para repetir el proceso en otras prensas. Este modo de trabajo permite que las prensas operen sin interrupciones (por falta de abastecimiento) en los próximos 2 ciclos de vulcanización. Lo negativo de esto es que se altera la trazabilidad de los neumáticos, pues el escaneo define la hora de vulcanización, pudiendo aún faltar 2 ciclos de cura o incluso más en caso de interrupciones externas.

8.1.2. Vulcanización

La cura de neumáticos es un proceso que tarda 14 minutos en promedio y ocurre en las cavidades de curado (Figura 13). En la planta existen 119 prensas compuesta cada una de 2 cavidades que vulcanizan neumáticos en paralelo a excepción de las líneas 600, 500 y 400B cuyas cavidades funcionan de manera independiente evitando que la falla de una cavidad detenga el funcionamiento de ambas. Cada cavidad se codifica con el número de línea (centena) y el número dentro de la línea (decena) de modo que la línea 100 posee 38 cavidades numeradas de la 101 a la 138, y el resto de líneas posee 40 cavidades.

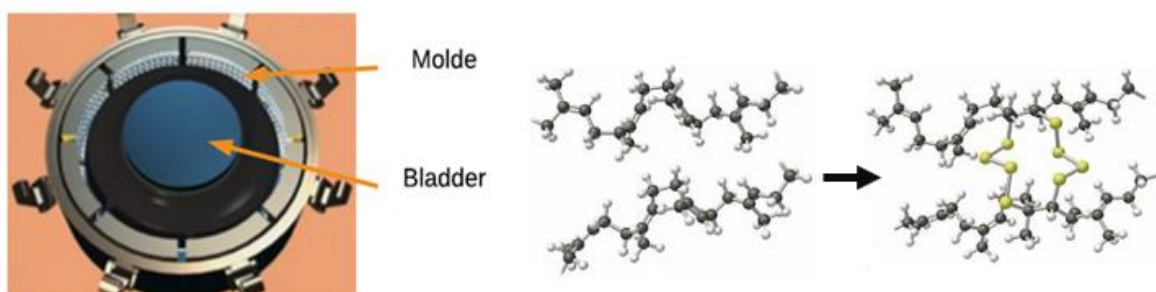


Figura 13. Curado de neumáticos.

Las cavidades se delimitan por moldes cuyas funciones son: fijar los neumáticos, transmitir calor y crear ranuras sobre la banda de rodadura (parte exterior) que brindará tracción al producto. En paralelo, una membrana (Bladder) se expande al interior de los neumáticos, lo que ayuda a fijarlos mientras las cavidades se cierran y a transmitirles calor mediante líquidos internos. Durante la cura los neumáticos se someten a vapores de azufre, que al combinarse con las cadenas de polímeros del caucho, crean un compuesto más resistente a la deformación (Stevenson, 2012).

Si bien los neumáticos vulcanizados adquieren mayor resistencia a temperatura ambiente, estos no se convierten en un producto 100% elástico, es decir, pueden no recuperar su forma inicial frente a condiciones extremas (Stevenson, 2012). Más aun, los neumáticos alcanzan los 156°C cuando son retirados de prensa, muy por sobre la temperatura que alcanzan en su uso final de 43°C a 80 km/hr (Army Materials and Mechanics Research Center, 1972), por lo que aún resulta factible su deformación.

8.1.3. Descarga

La descarga de los neumáticos es llevada a cabo por brazos automatizados que extraen los neumáticos y los depositan en bandejas traseras como se muestra en las Figuras 14 y 15. En las bandejas los neumáticos son detenidos a la espera de su liberación.

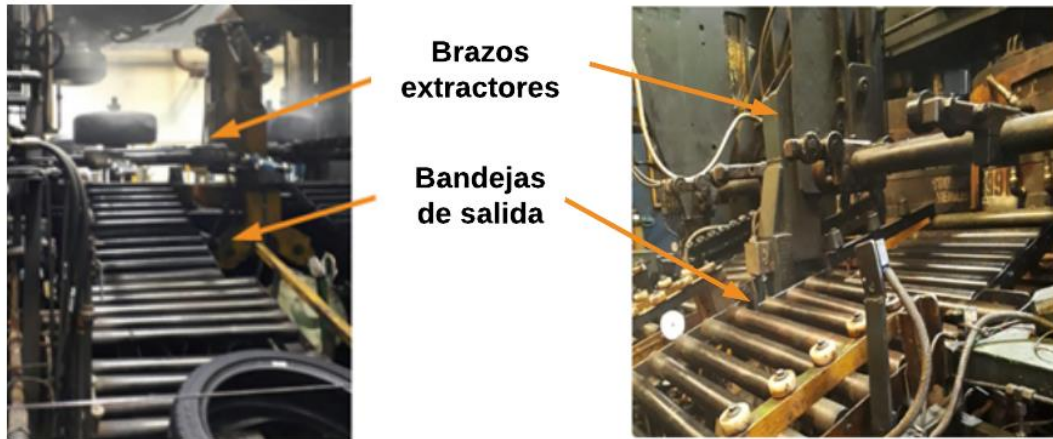
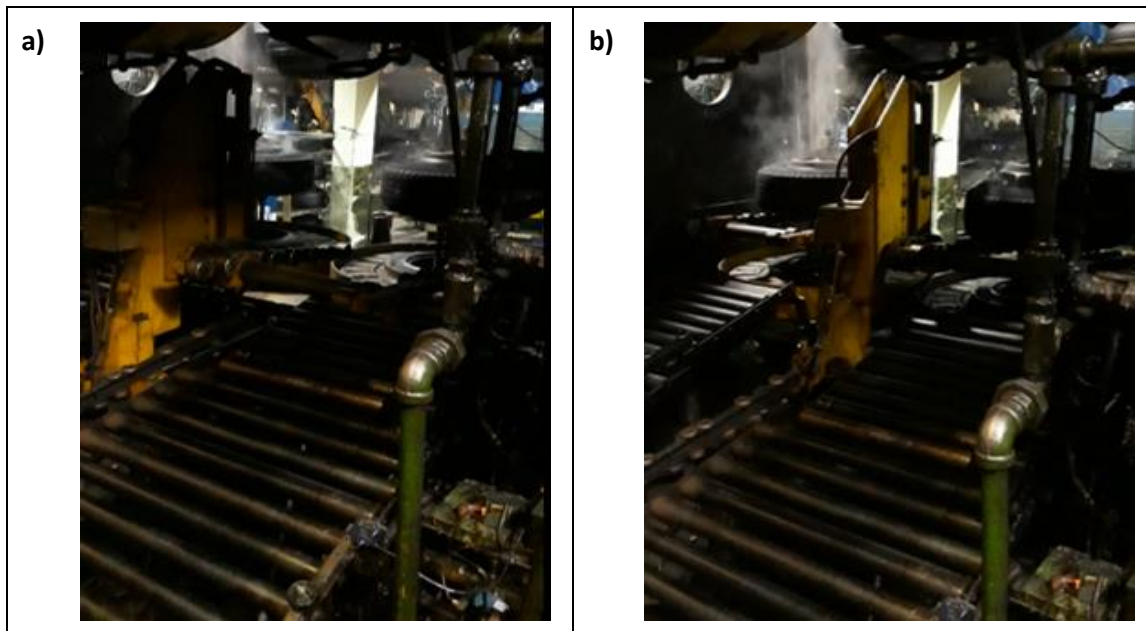


Figura 14. Brazos extractores y bandejas de salida.



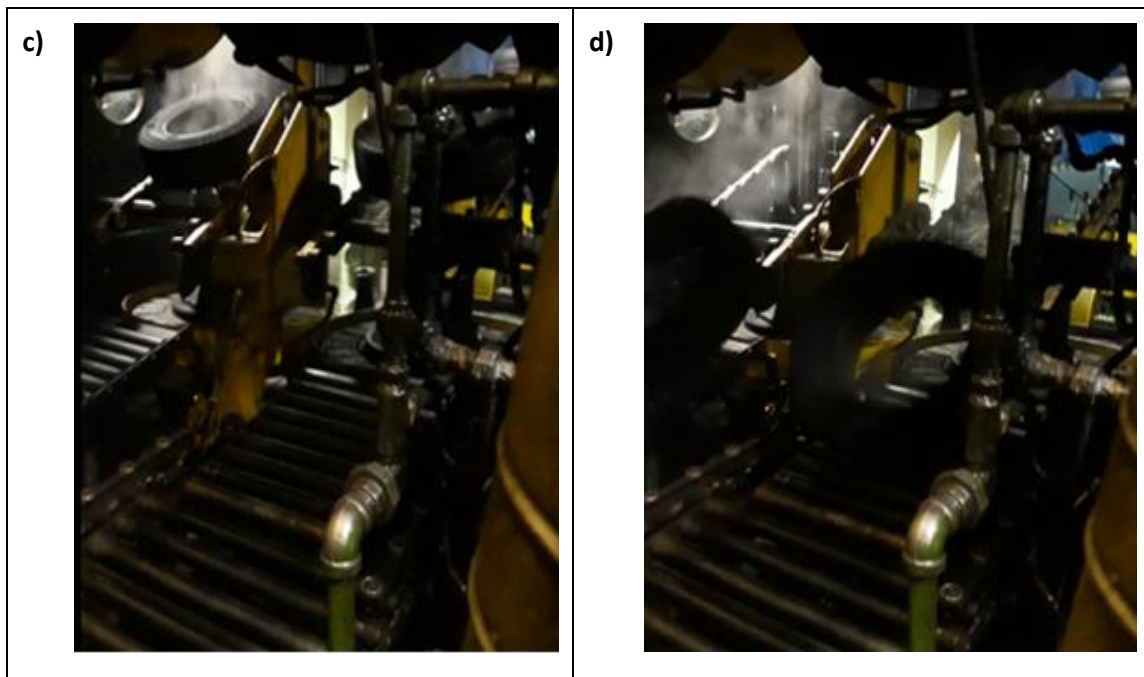


Figura 15. Extracción de neumáticos. **a)** Brazos retirados. **b)** Brazos bajo los neumáticos. **c)** Brazos inclinados. **d)** Caída de neumáticos.

8.1.4. Detención

Existen diferentes tipos de bandejas como mecanismos de detención de neumáticos en ellas (Figura 16), cuyo objetivo común es permitir una liberación ordenada hacia la correa central donde convergen todos los ejemplares de la línea y avanzan al cabezal (Figura 17). A continuación se detallan el tipo de bandeja y mecanismos de detención presentes en las cavidades de vulcanización y de ello se muestra un resumen en el Anexo D, Figura 82.

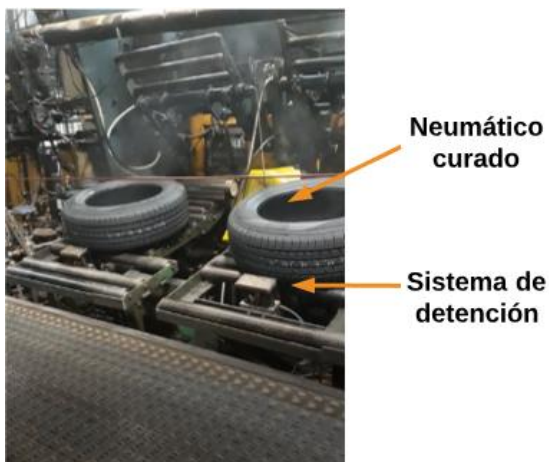


Figura 16. Detención de neumáticos

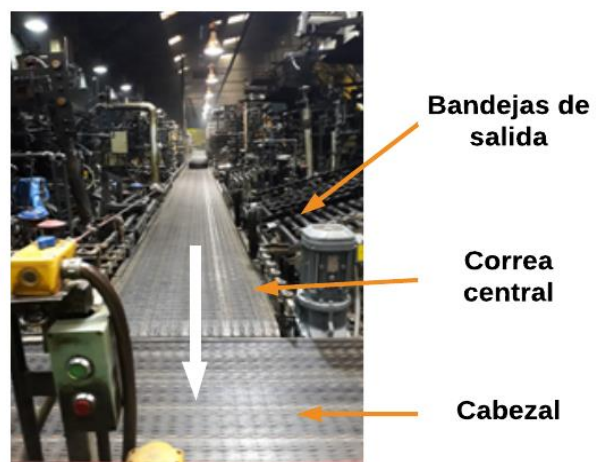


Figura 17. Correa central.

1) Líneas 500 y 600 (cantidad: 80)

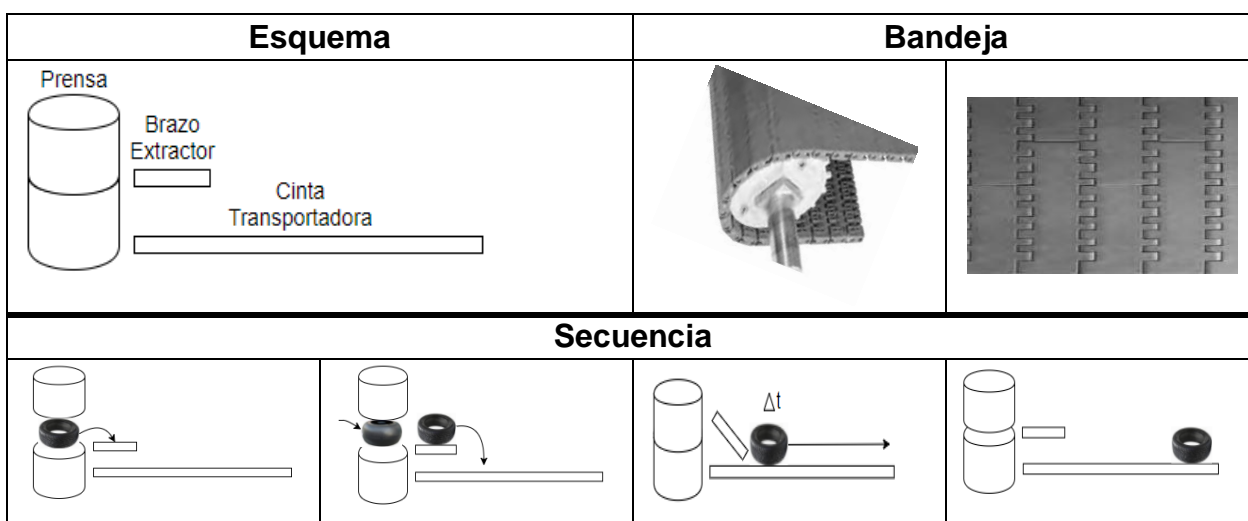
Los neumáticos descargados se depositan en cintas transportadoras horizontales donde reposan por un ciclo de vulcanización (14 min) luego de lo cual avanzan para dar cabida a un segundo neumático y esperar en el extremo cercano a la correa central a la espera de su liberación. La ventaja de este mecanismo es que permite el enfriamiento de neumáticos antes de su liberación, lo cual se verifica en la Tabla 13 que muestra la temperatura con que los neumáticos alcanzan los cabezales de línea.

Tabla 14. Temperatura promedio de neumáticos en cabezales de línea.

Línea 100	Línea 200	Línea 300	Línea 400A	Línea 400B	Línea 500	Línea 600
127.8°C	131.1°C	120.5°C	141°C	86.8°C	84.6°C	81.5°C

Observación: valores medidos utilizando pirómetro.

Tabla 15. Bandeja y sistema de detención en líneas 500 y 600.



2) Línea 400B y cavidades 417/418/419/420 (cantidad: 24)

Los neumáticos reposan en los brazos extractores mientras otro neumático inicia su vulcanización. 5 minutos antes de que el siguiente neumático termine su curado, los brazos extractores depositan los neumáticos en una bandeja de polines (cilindros) inclinada que se endereza para detener el avance de los neumáticos. La bandeja vuelve a inclinarse para liberar los neumáticos a la correa central. Este sistema contribuye con el enfriamiento de los neumáticos previa su liberación, pero en menor incidencia que las líneas 500 y 600.

Tabla 16. Bandeja y sistema de detención en línea 400B y cavidades 417/418/419/420.

Esquema		Bandeja	
Secuencia			

3) Cavidades 113/114/205/206/207/208/239/240 (cantidad: 8)

La bandeja es una cinta transportadora que recibe los neumáticos y los moviliza al extremo cercano a la correa central a la espera de su liberación. Similar a las líneas 500 y 600 pero sin retener los neumáticos por 1 ciclo de curado.

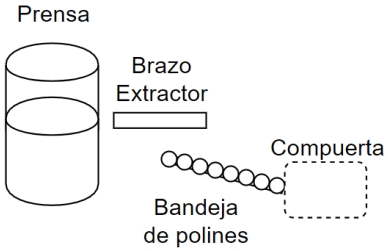

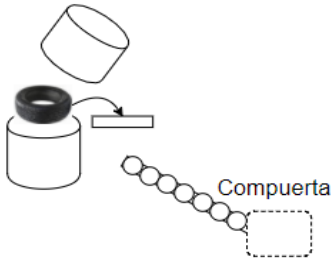
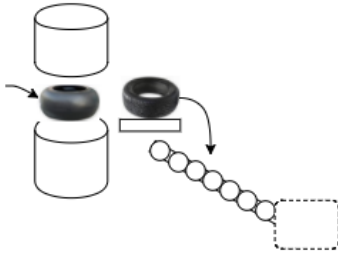
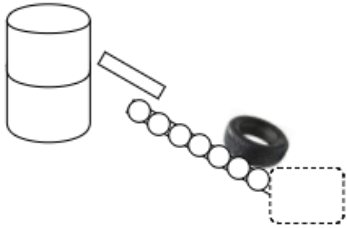



Tabla 17. Bandeja y sistema de detención en Cavidades 113/114/205/206/207/208/239/240.

Esquema	Bandeja	
Secuencia		

4) Resto de cavidades (cantidad: 126)

Para el resto de cavidades (la mayoría), los brazos extractores depositan los neumáticos en una bandeja de polines inclinadas donde descienden por gravedad y son detenidos por 3 tipos de compuertas que descienden para liberar los neumáticos.

Tabla 18. Bandeja y sistema de detención en resto de cavidades.

Esquema	Bandeja	
 <p>Prensa</p> <p>Brazo Extractor</p> <p>Compuerta</p> <p>Bandeja de polines</p>		
Secuencia		
 <p>Compuerta</p>		
Compuertas		
 <p>Cavidades 203/204</p>	 <p>Cavidades 103/104/211/212/ 327/328/329/330</p>	 <p>Resto (cantidad:116)</p>

8.1.5. Liberación

La liberación de neumáticos consiste en la salida de estos a la correa central, la cual los moviliza al cabezal. Para que esto ocurra de forma ordenada y sin colisión entre neumáticos de lados opuestos de la correa central, se utiliza un sensor laser dispuesto en el cabezal de la correa, el cual detecta la ausencia de neumáticos y ordena la liberación del lado A (Figuras 18.a y 18.b). Cuando nuevamente los neumáticos abandonan la correa central, el sensor permite la liberación de ejemplares del lado B, y así sucesivamente cada 3 minutos en promedio (Figuras 18.c y 18.d). Es requisito para el sensor, que la correa se encuentre libre de neumáticos durante 10 segundos antes de permitir una liberación.

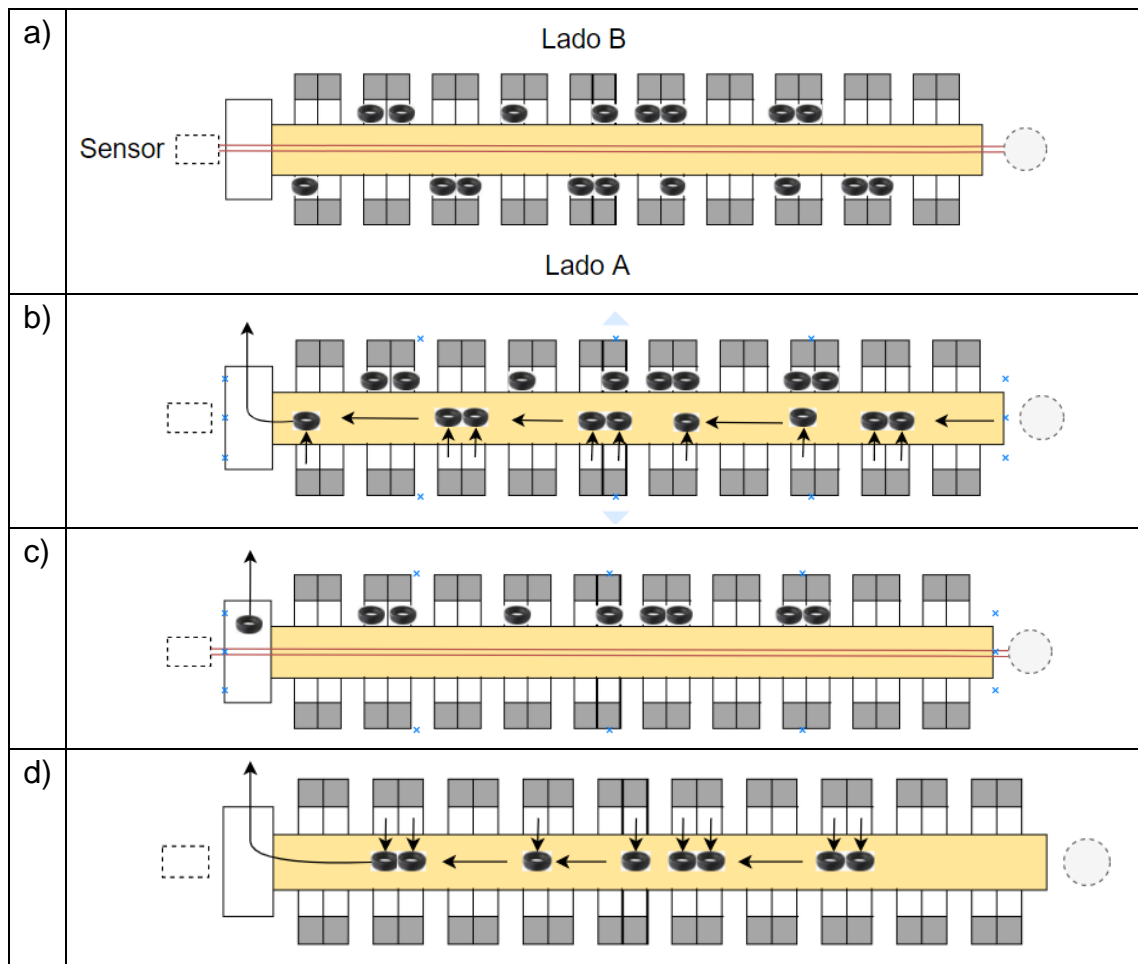


Figura 18. Liberación de neumáticos. **a)** Ausencia de neumáticos en correa. **b)** Liberación lado A. **c)** Ausencia de neumáticos. **d)** Liberación lado B.

Durante la liberación, aquellas cavidades que cuentan con compuertas como mecanismo de detención (cantidad: 126), tardan 10 segundos en cerrar (levantar) sus compuertas, lo cual es tiempo suficiente para que un neumático descienda por la bandeja de polines (1 a 7 segundos). Sin embargo, mientras ocurre la liberación, no se coordina la descarga, de modo que un neumático recién vulcanizado puede no alcanzar a descender totalmente antes que la compuerta se reactive. Esto no ocurre para el resto de mecanismos de detención pues siempre detienen un neumático recién descargado. Este aspecto se discutirá en el capítulo de Análisis.

8.1.6. Conveyor

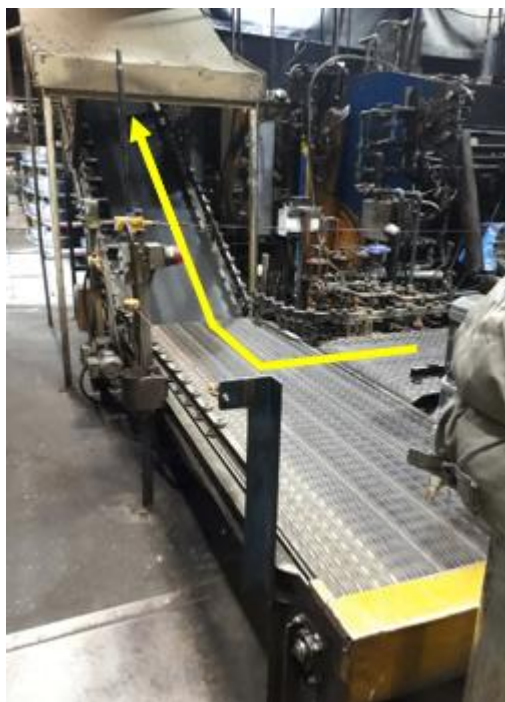


Figura 19. Cabezal de línea.

Luego de la liberación, los neumáticos avanzan al cabezal de la correa central en donde ascienden y continúan su viaje mediante conveyor (Figura 19) para llegar a la zona de inspección visual. En los conveyors, el flujo de las 6 líneas de vulcanización converge sucesivamente gracias al uso de 4 tipos de correas transportadoras (polines, estera, intralox transversal e intralox longitudinal) y 4 tipos de compuertas de conveyor (sorteadoras, centradoras, motopolines y rampas) explicadas a continuación:

1) Correa de polines

Consiste en un conveyor formado por polines (cilindros) que se limitan a sostener el producto transportado sin ofrecer resistencia como muestra la Figura 20. Útil para trayectos inclinados donde los neumáticos descienden por gravedad.

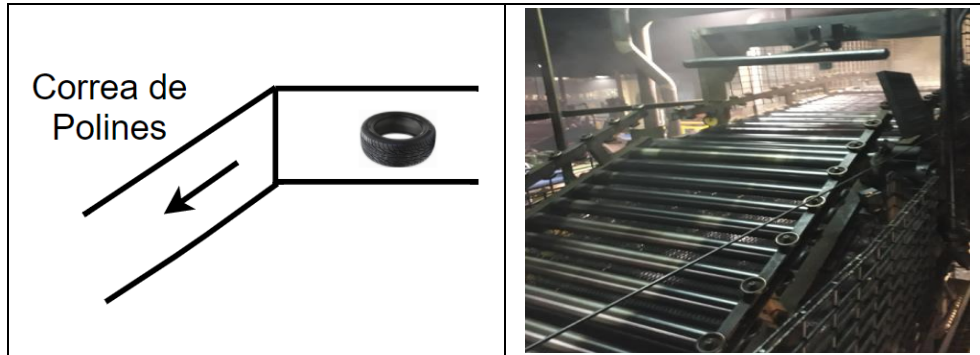


Figura 20. Correa de polines.

2) Correa estera

Correa de goma que brinda gran fijación a los objetos transportados. Útil para trayectos inclinados donde los neumáticos ascienden como muestra la Figura 21.

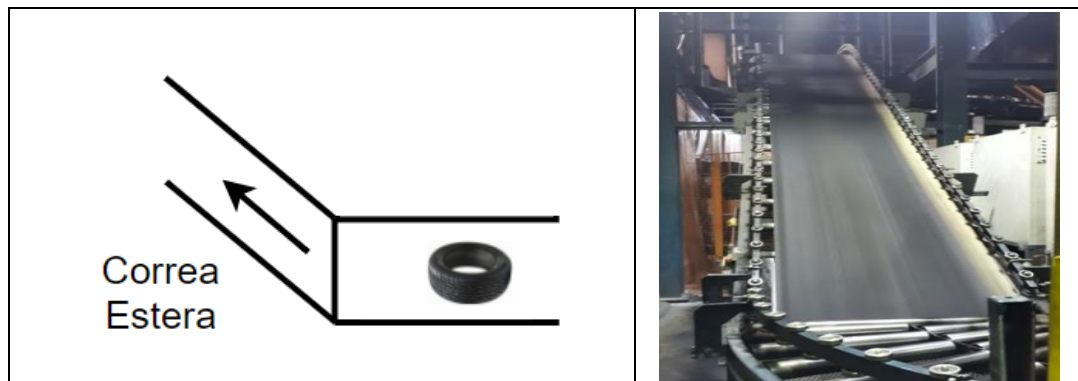


Figura 21. Correa estera.

3) Correa intralox transversal

Correa plástica que tiene incorporada pequeños rodillos que facilitan el movimiento transversal sobre la correa como se expone en la Figura 22. Útil para recibir flujo desde los costados sin generar fricción.

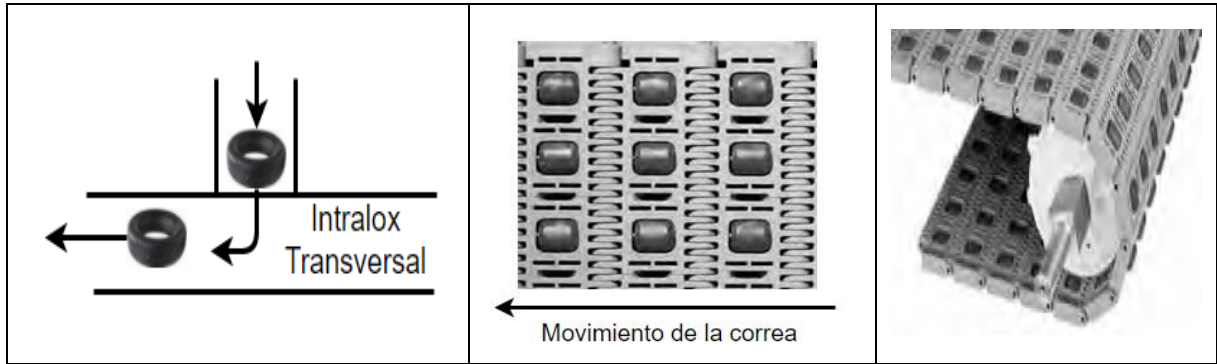


Figura 22. Correa intralox transversal.

4) Correa intralox longitudinal

Correa plástica que tiene incorporada pequeños rodillos que facilitan el movimiento longitudinal sobre la correa como muestra la Figura 23. Útil para no dañar los neumáticos cuando son detenidos (por elementos externos) mientras la correa continúa moviéndose.

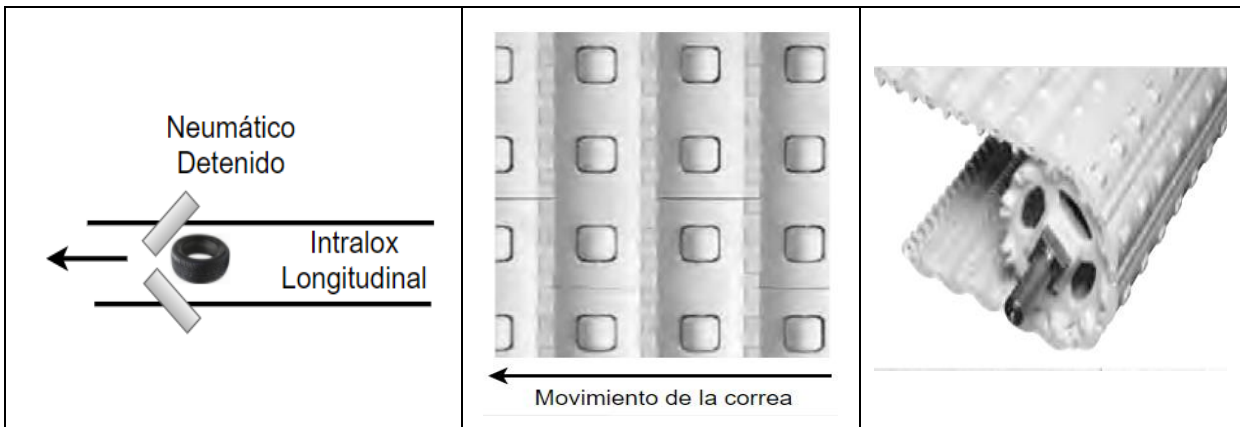


Figura 23. Correa intralox longitudinal.

5) Sorteadora

Compuerta que impide el avance de neumáticos. Su funcionamiento y estructura es simple (requiere un cilindro neumático de presión) pero limitada a conveyors que disponen de espacio sobre ellos como muestra la Figura 24. Se sitúa sobre correa de polines para evitar daño a los neumáticos detenidos.

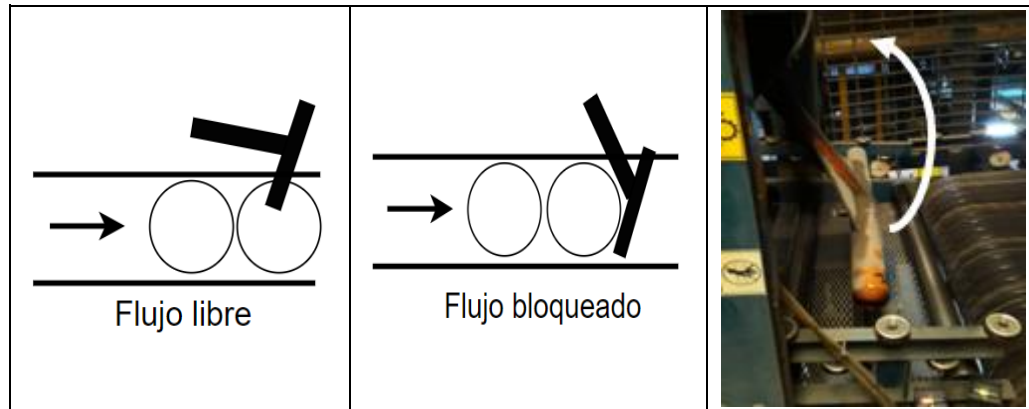


Figura 24. Funcionamiento sorteadoras.

6) Centradoras

Compuertas que impiden el avance de neumáticos como muestra la Figura 25. Su funcionamiento es más complejo y caro que las sorteadoras (se requieren 2 cilindros neumáticos de presión), pero pueden ubicarse en conveyors con escaso espacio superior.

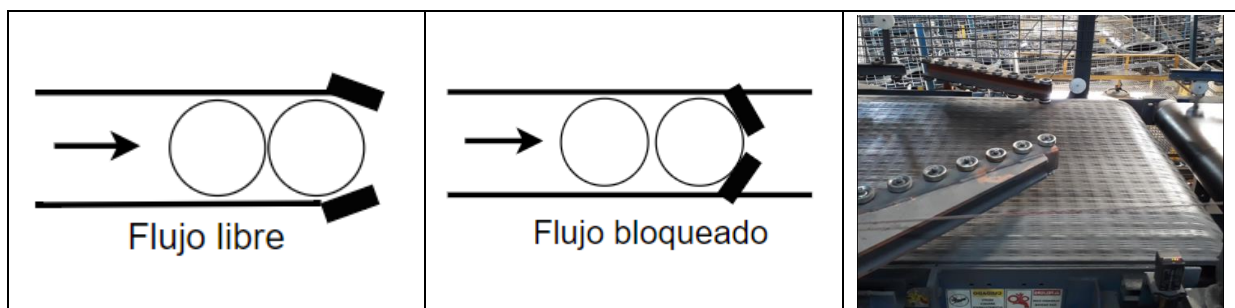


Figura 25. Funcionamiento de centradoras.

7) Rampas

Bandeja de polines móvil que permite comunicar 2 conveyors como muestra la Figura 26. Se utiliza junto a una sorteadora que detenga el flujo superior y centradoras que detengan el flujo inferior.

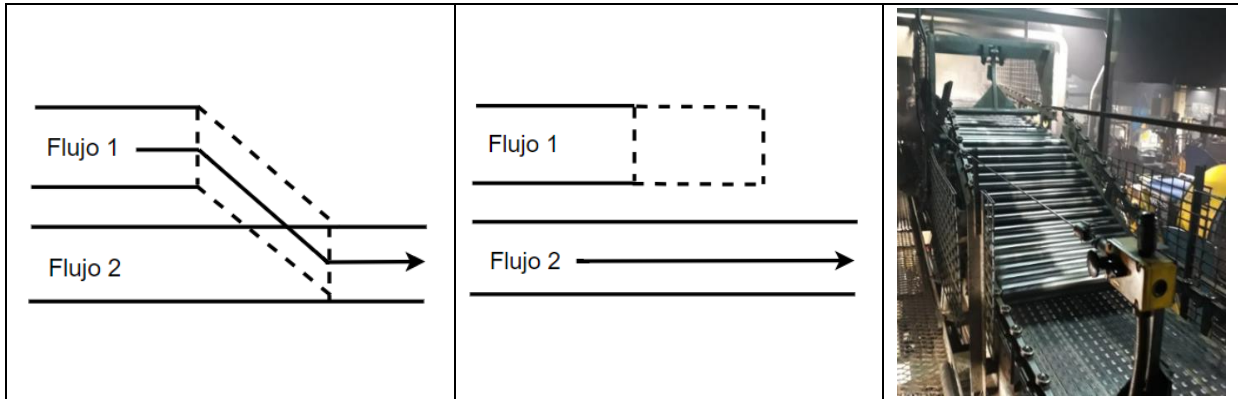


Figura 26. Funcionamiento de rampas de polines.

8) Motopolín

Consiste en un polín cuya rotación es regulada eléctricamente. Se ubica al final de una correa de polines para detener el avance de neumáticos que descienden por gravedad como muestra la Figura 27.

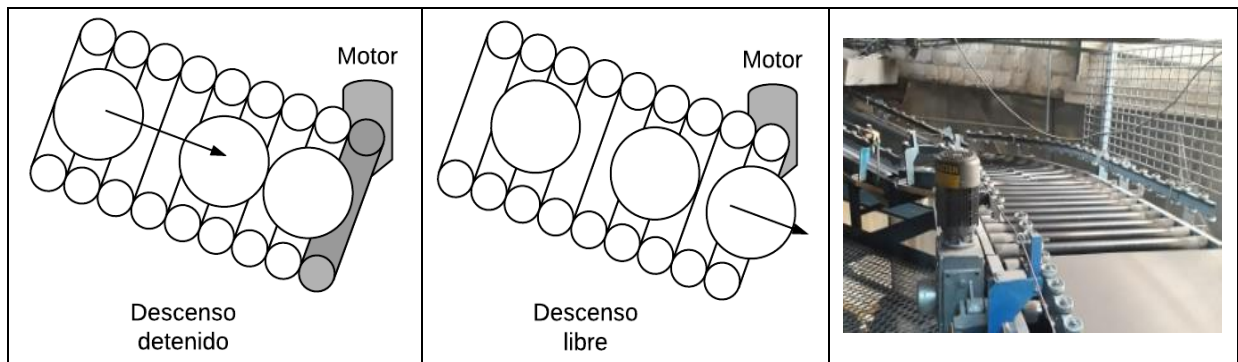


Figura 27. Funcionamiento motopolines.

Para concluir este subcapítulo, se detalla a continuación cómo converge el flujo de neumáticos en los conveyors hacia la zona de inspección visual, donde los ejemplares son segregados a mesas de inspección para detectar aquellos **Dañados por Transportadora** y/o otras fallas (Figura 28).

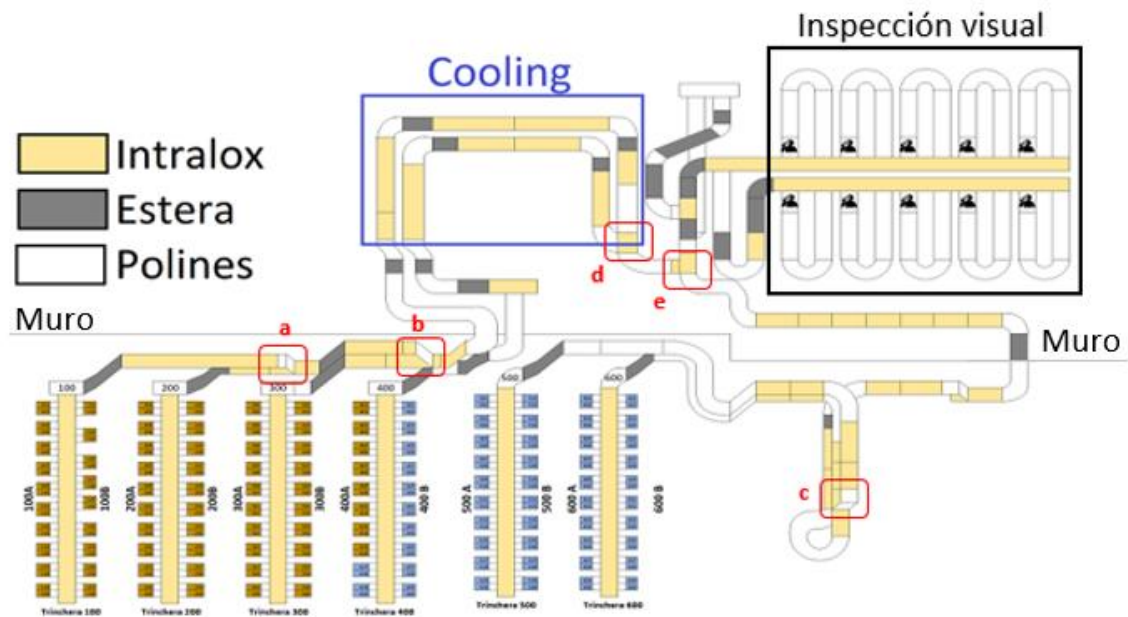


Figura 28. Transporte de neumáticos vulcanizados en conveyor.

a) Flujo de líneas 100 y 200

Por defecto se permite el flujo libre de neumáticos de la línea 100 a través de una rampa, mientras que los neumáticos provenientes de la línea 200 son detenidos por centradoras. En la Figura 29, el sensor indicado por el número **1**, detecta cuando se han acumulado 4 o 5 neumáticos de la línea 200 y luego de 15,2 segundos ordena que el sorteador de la línea 100 descienda y que las centradoras se abran. Cuando los neumáticos de la línea 200 alcanzan el sensor número **3**, la rampa se levanta por 8,2 segundos mientras siga detectando neumáticos. Luego de los 8,2 segundos la sorteadora ascenderá y permitirá el flujo de la línea 100. El sensor **2** detecta la ausencia de neumáticos (fin de la cola) y luego de 2,2 segundos ordena el cierre de las centradoras. El sensor indicado por el número **0** es de emergencia en caso de que no funcione el sensor número **1** (que el laser cruce entre neumáticos).

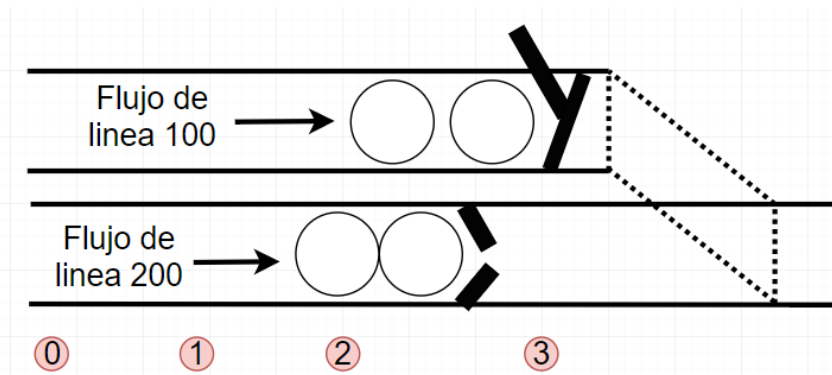


Figura 29. Comunicación flujo de línea 100 y 200.

b) Flujo de las líneas 100, 200 y 300.

La comunicación es similar al de las línea 100 y 200, sin embargo la configuración de los sensores cambia. En la Figura 30, el sensor 1, ahora detecta 7 u 8 neumáticos y espera 4,5 segundos para abrir las centradoras. El sensor 2 espera 2,6 segundos luego del último neumático para cerrar las centradoras. El resto del sistema mantiene la misma configuración, de modo que se da prioridad al flujo mayor (líneas 100+200).

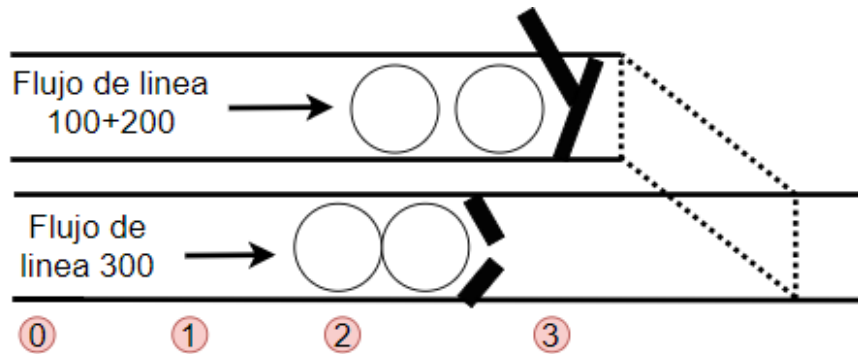


Figura 30. Comunicación flujos de línea 100, 200 y 300.

A partir de este punto, el flujo resultante se moviliza en paralelo al flujo de la línea 400 y llegan a una zona provista de aire acondicionado para facilitar el enfriamiento de los neumáticos llamada Cooling (Figura 31). La zona de enfriamiento reduce considerablemente la temperatura de los neumáticos facilitando su manipulación en la inspección visual a unos 70°C en promedio.

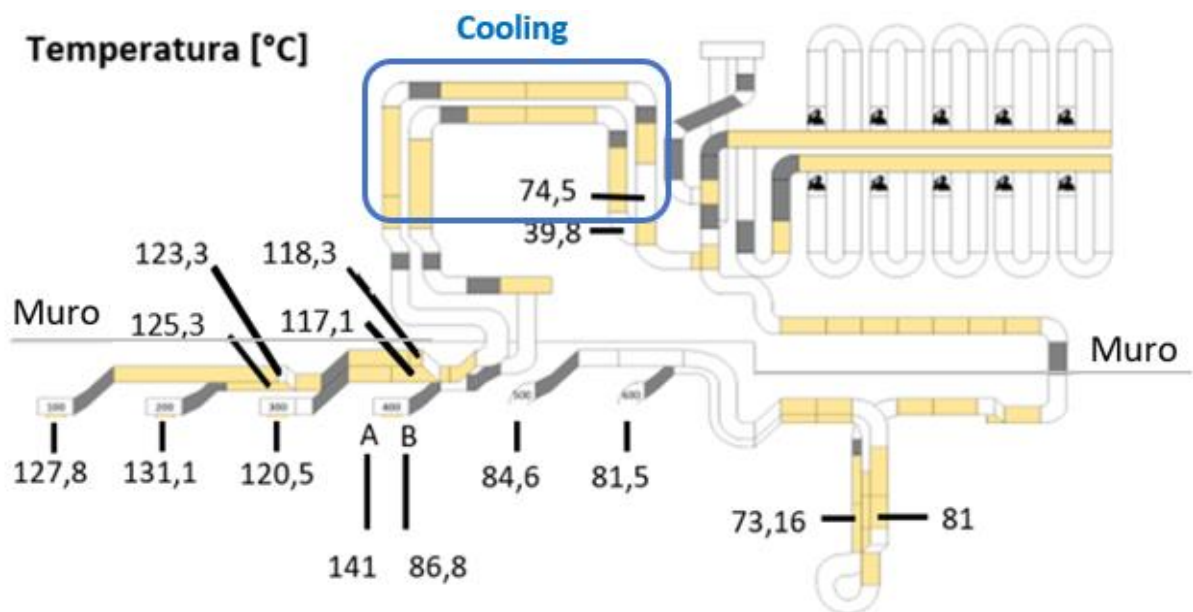


Figura 31. Temperatura de neumáticos en conveyor.

c) Flujo de líneas 500 y 600

El funcionamiento es análogo al ya explicado excepto por la configuración de los sensores. En la Figura 32, el sensor 1 ahora detecta 5 o 6 neumáticos y espera 2,8 segundos para abrir las centradoras. El sensor 2 espera 2,7 segundos luego del último neumático para cerrar las centradoras. El sensor 3 mantiene levantada la rampla por 3,1 segundos. El resto del sistema mantiene la misma configuración.

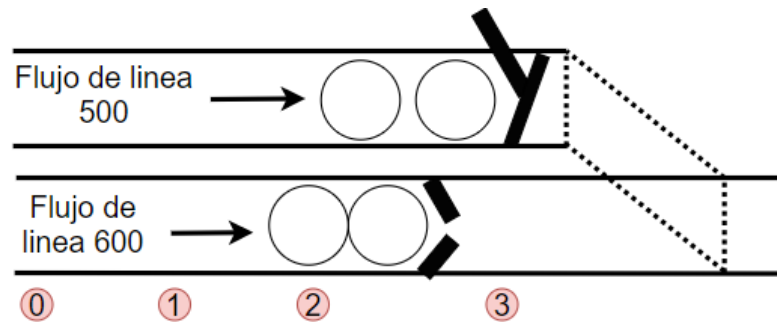


Figura 32. Comunicación flujos de líneas 500 y 600.

El flujo resultante, a diferencia de las otras líneas, no transita por una zona de enfriamiento (Cooling). En su defecto, los neumáticos fueron enfriados por reposo gracias a los sistemas de detención en bandejas, y además transitan de forma pausada por el conveyor, lo cual es posible gracias al menor flujo.

d) Flujo de líneas 100, 200, 300 y 400

Luego de salir del Cooling se unifican los flujos de las líneas 100+200+300 y 400 como muestra la Figura 33. Por defecto se permite el flujo libre (mayor) de las líneas 100, 200 y 300 el cual es detenido mediante una sorteadora para permitir el flujo de la línea 400 o bien cuando el tramo siguiente ya está saturado. El flujo de la línea 400 (menor) es controlado mediante un motopolin.

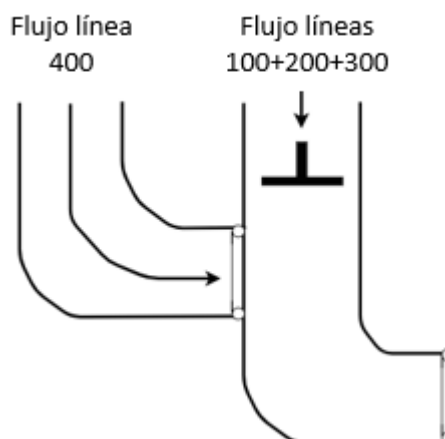


Figura 33. Comunicación flujos líneas 100, 200, 300 y 400.

e) Flujo de líneas 100, 200, 300, 400, 500 y 600

Finalmente los flujos de las líneas 100+200+300+400 se unen al de las líneas 500+600 como muestra la Figura 34, lo cual es controlado mediante motopolines que dan preferencia a al flujo 100+200+300+400 que es mayor.

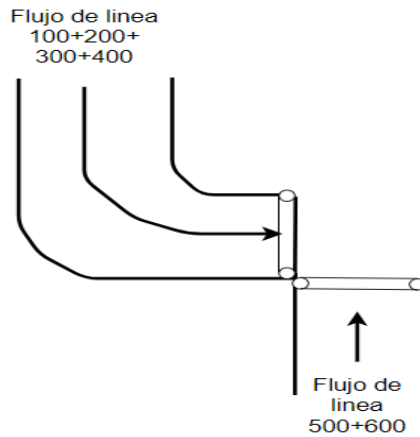


Figura 34. Comunicación flujo de líneas 100, 200, 300, 400, 500 y 600.

8.2. Descripción del problema

Para identificar el tipo de daño que sufren los neumáticos en su transporte, se inspeccionaron 160 ejemplares durante el mes de diciembre 2017. Como resultado, se detectaron 3 tipos de daño: breaker hundido, pestañas dobladas y lateral deteriorado (composición de neumáticos en Tabla 10). En la mayoría de los casos, los neumáticos presentaban más de un tipo de daño.

En el 52% de los casos se detectó deformación en la zona exterior de los neumáticos como se muestra en la Figura 35. La componente que resulta dañada en estos casos es el breaker, que al estar compuesto de alambre, es más susceptible a deformaciones permanentes.



Figura 35. Breaker hundido.

En el 23% de los casos se detectó deformación en los anillos interiores (pestañas) como se expone en la Figura 36. Al igual que el breaker, las pestañas están compuestas de alambre, lo que favorece la deformación permanente.



Figura 36. Daño en pestañas.

En el 30% de los casos, los neumáticos presentaban aspecto ovalado, posiblemente debido a breaker o pestañas dañadas poco perceptibles a la vista y tacto. Finalmente, un 10% de los neumáticos presentaba daño en el lateral (Figura 37), zona que esta compuesta de goma de caucho y telas de nylon. La voz de los inspectores de calidad sugiere que este tipo de daño ocurre cuando los neumáticos son presionados contra las correas transportadoras intralox, las que poseen rodillos que dañarían los laterales.



Figura 37. Daño en lateral.

La Tabla 19 segrega el muestreo scrap por línea de origen. En todas las líneas, excepto 400 y 500, el principal daño que reciben los neumáticos es en la zona breaker. La línea 400 destaca por el daño en pestañas mientras que las líneas 200 y 500 destacan por no presentar daño en lateral. Estos indicios ayudarán en el entendimiento de las causas generadoras de daño en el capítulo de Análisis.

Tabla 19. Daño scrap por línea de vulcanización.

Línea	Scrap	Daño en Breaker	Daño en Pestañas	Ovalado	Daño en lateral
100	50	31	7	15	8
200	22	14	4	6	0
300	37	18	7	12	4
400	35	14	17	6	3
500	5	1	1	3	0
600	11	5	1	5	1
Total	160	83	37	47	16

9. Análisis del problema

En este capítulo se describen las circunstancias en que los neumáticos son dañados y se explican las causas que las generan de modo de facilitar el diseño de mejoras.

9.1. Hipótesis del problema

En esta sección se proponen y analizan hipótesis sobre la generación de daño en los neumáticos, utilizando para ello la información de scrap disponible en los sistemas informáticos de Goodyear Chile, muestreo y registros multimedia en terreno.

9.1.1. Revisión base de datos

De los sistemas informáticos de Goodyear Chile se recuperó la información referente a trazabilidad de neumáticos scrap y niveles de producción en líneas de vulcanización. Al respecto se logró concluir lo siguiente:

a) No existe relación de daño con el tamaño de los neumáticos

En la planta Goodyear Chile se fabrican neumáticos para automóviles de aro 15 al 20 que pesan en promedio 12 kg. La mayor parte de la producción se destina a neumáticos de aro 17 (un 42%), razón por la cual es el tamaño que mayor presenta scrap. Para corregir este indicador, se normaliza la cantidad de scrap por la cantidad total de neumáticos vulcanizados con ese aro como se muestra en la Figura 38.

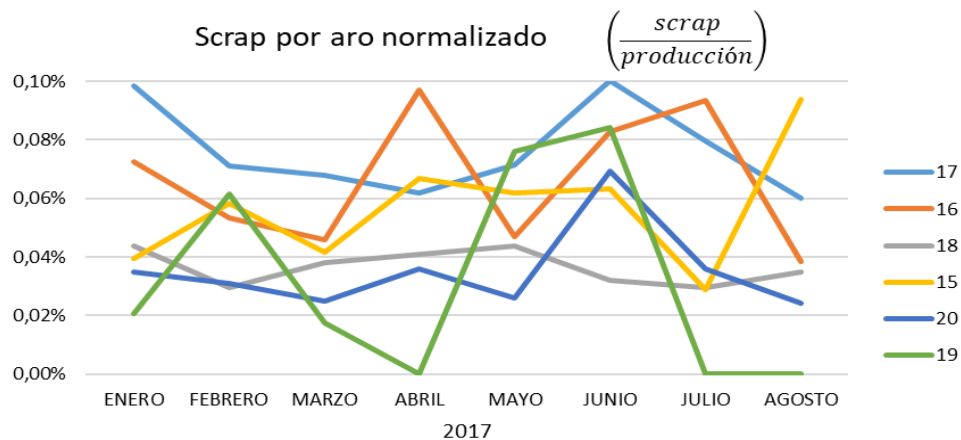


Figura 38. Generación de scrap por aro de neumático.

El resultado nos permite concluir visualmente que no existe relación de daño con el tamaño de los neumáticos, en otras palabras, no ocurre que ejemplares más pequeños se dañen más fácilmente.

b) Las líneas 500 y 600 generan significativamente menos scrap que el resto

Las líneas de vulcanización 500 y 600 son las más nuevas de la planta, y como ya fue mencionado, realizan un trayecto separado al resto de líneas y poseen un sistema de detención que contribuye al enfriamiento temprano de los neumáticos. La Figura 39 presenta los niveles de scrap normalizados que generan las 6 líneas de producción. Visualmente podemos decir que las líneas 500 y 600 generan menor nivel de scrap que el resto.

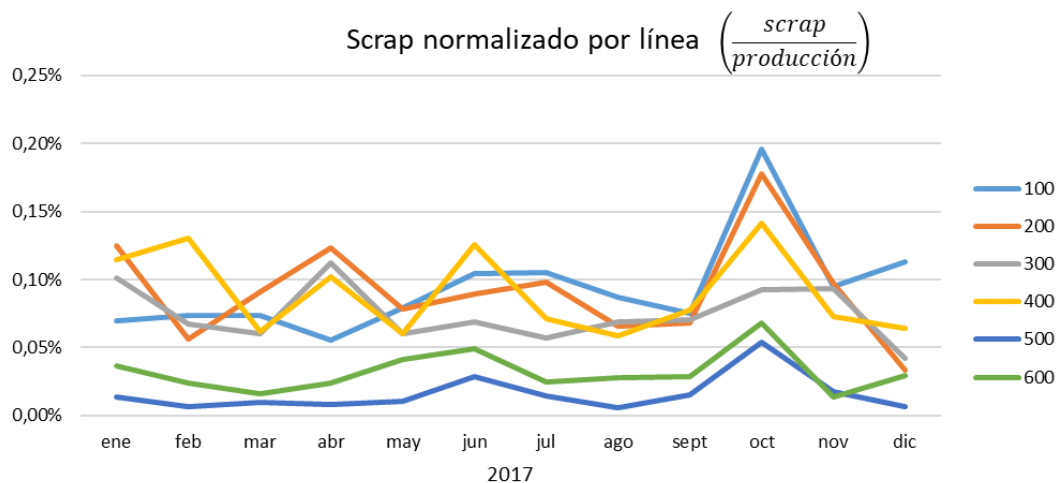


Figura 39. Generación de scrap por línea de vulcanización.

Gracias a la base de datos de scrap y producción por línea, se pueden construir intervalos de confianza al 95% que permiten concluir que las líneas 500 y 600 generan significativamente menos scrap que el resto. Para esto se usó el estadístico $(\hat{P}_{500/600} - \hat{P}_{min})$ que compara la probabilidad de daño en líneas 500 o 600 con la siguiente línea de menor indicador para un mes determinado. La Tabla 20, permite concluir que la significancia se repite a lo largo del año 2017, exceptuando el mes de diciembre en que la generación de scrap de las líneas 600 y 200 resultó muy similar.

Tabla 20. Intervalos de confianza al 95% para la diferencia scrap de las líneas productivas.

Linea de referencia	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun	
	100		200		300		100		400		300	
	Inferior	Superior	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup
Intervalo para línea 500	-0,0006	-0,0005	-0,0005	-0,0004	-0,0006	-0,0004	-0,0005	-0,0004	-0,0006	-0,0004	-0,0005	-0,0003
Intervalo para línea 600	-0,0005	-0,0002	-0,0004	-0,0002	-0,0005	-0,0004	-0,0004	-0,0002	-0,0003	-0,0001	-0,0003	-0,0001

Linea de referencia	Jul		Ago		Sept		Oct		Nov		Dic	
	300		400		200		300		400		200	
	Inferior	Superior	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup
Intervalo para línea 500	-0,0005	-0,0004	-0,0006	-0,0005	-0,0006	-0,0004	-0,0006	-0,0002	-0,0006	-0,0005	-0,0003	-0,0002
Intervalo para línea 600	-0,0004	-0,0002	-0,0004	-0,0002	-0,0005	-0,0003	-0,0004	-0,0001	-0,0007	-0,0005	-0,0002	0,0001

c) No existe relación de daño con el turno de trabajo

La Figura 40 muestra el nivel de scrap (no normalizado) que se genera en los 3 turnos de trabajo que operan en la planta. Se puede concluir visualmente que no existe relación con la generación de scrap

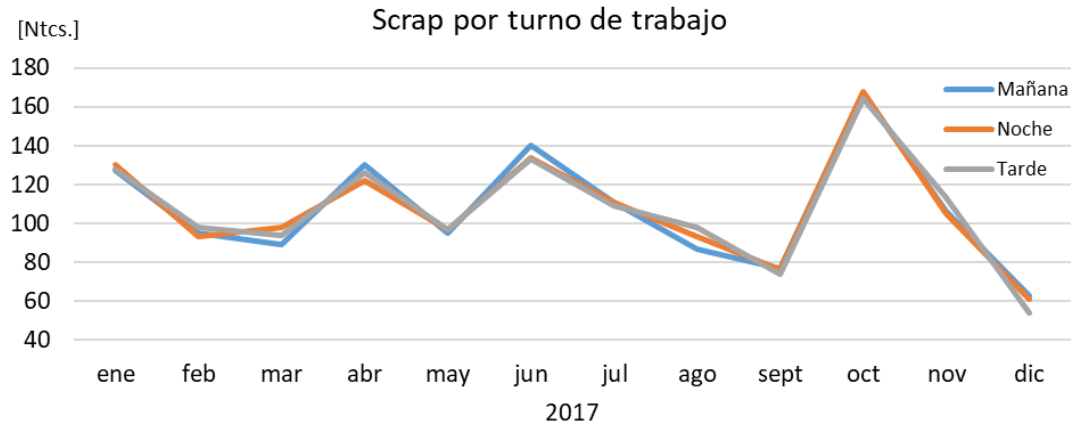


Figura 40. Nivel de scrap por turno de trabajo.

Para esta hipótesis no se dispone del detalle de producción por turno debido a que esa información se sobrescribe a lo largo del año, por esta razón no se normalizó el scrap ni se crearon intervalos de confianza.

d) Cavidades con mayor nivel de scrap

El Anexo D, Figura 83 expone los niveles de scrap normalizado promedio proveniente de las cavidades de prensa durante el año 2017. Se puede observar un nivel medio de generación de scrap de 0,06%, es decir, 6 neumáticos scrap por cada 10.000 transportados correctamente. Las cavidades que mayor indicador scrap poseen son: 107 (0,33%), 227 (0,31%) y 415 (0,36%). Esto servirá de guía al momento de inspeccionar y realizar muestreo en las líneas de vulcanización.

e) Neumáticos de línea 400 logran un mejor enfriamiento que el resto

La Tabla 21 presenta las horas promedio que tardó un neumático vulcanizado desde que fue escaneado en prensa hasta que fue inspeccionado y catalogado como scrap. No se contaba con la trazabilidad de neumáticos no-scrap debido a su enorme cantidad, por esta razón los valores entregan un tiempo aproximado de viaje del proceso de transporte.

Tabla 21. Horas de viaje de los neumáticos scrap.

Tiempo promedio de viaje en neumáticos scrap [hrs]													
Línea	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic	Anual
100	2,9	2,0	11,2	5,7	5,6	9,3	21,8	11,3	13,1	10,0	5,4	8,0	9,4
200	8,9	5,8	8,3	3,1	4,1	15,2	2,9	2,9	8,6	3,4	8,1	16,2	6,5
300	3,3	2,2	1,7	4,3	3,6	4,8	2,8	3,6	43,9	6,6	6,7	3,0	7,1
400	14,5	10,5	3,9	16,2	11,3	20,0	11,8	18,8	51,6	23,2	12,7	10,3	16,4
500	12,9	54,3	1,9	8,4	3,5	36,1	33,9	8,3	9,9	28,1	10,5	11,3	21,4
600	11,8	5,8	4,1	3,1	16,9	23,0	14,1	35,6	11,0	76,6	25,6	7,8	24,6

Se puede notar un mayor tiempo de viaje para neumáticos de las líneas 500 y 600 debido a su recorrido mas extenso y lento a fin de compensar la falta de una zona de enfriamiento (Cooling), de modo que los neumáticos se enfrían por reposo en conveyor. En comparación con los neumáticos de la línea 400, el flujo combinado de las líneas 100, 200 y 300, obliga a reducir las esperas de sus neumáticos al transitar por el Cooling, por esta razón los neumáticos de la línea 400 tardan más y logran un mejor enfriamiento.

9.1.2. Revisión muestreo

En este apartado se describen situaciones anormales en que los neumáticos interactúan con fuerzas deformadoras, sin embargo las siguientes condiciones imposibilitaron levantar grandes tamaños muestrales y realizar inferencia estadística sobre los casos:

- Se asistió a planta durante turno mañana (7:00 a 15:00)
- Se disponía sólo de una cámara con capacidad para grabar 5 hrs mientras que un turno de trabajo dura 8 hrs
- Para realizar inferencia estadística se requiere conocer el total de veces que se generan los casos detectados, lo cual no es posible por los motivos anteriores y porque ningun sistema informático los detecta
- Para monitorear neumáticos se debe registrar su código de barra, que debido a su reducido tamaño (5 cm^2) y longitud numérica (10 cifras), obliga a retirar los neumáticos (12kg) muchas veces en movimiento, a altas temperaturas (100°C) y desde escasos puntos de acceso como se muestra en la Figura 41.



Figura 41. Neumáticos a altas temperaturas, código de barra y conveyor cercado.

Por estos motivos unos pocos ejemplares lograron ser registrados para conocer, mediante trazabilidad, su disposición final (scrap o no).

a) Neumáticos dañados en carros de abastecimiento

Los carros utilizados para trasladar neumáticos en verde a prensas disponen de 3 a 4 bandejas con capacidad para 5 o 6 neumáticos dependiendo del tamaño de estos. Como se muestra en la Figura 42, se observaron neumáticos con hendiduras y cortes debido al roce con las esquinas del carro, por chocar con otros neumáticos y/o por sobresalir del carro y colisionar con obstáculos del camino.



Figura 42. Neumáticos dañados en carro.

Se verificó del muestreo y de entrevista a operarios de prensa que manipulaban los neumáticos, lo siguiente:

- Los neumáticos considerablemente dañados (capas internas expuestas), son segregados por los operarios y dispuestos en estantes scrap (con clasificación distinta a Daño en Transportadora)
- El resto de ejemplares con hendiduras y deformación son corregidos con el proceso de vulcanización sin daño alguno

b) Fricción con Bladder durante la descarga

Durante la apertura de prensas, el Bladder (membrana interna) se expande y contrae continuamente dificultando la extracción de los neumáticos (hasta por 1 min). Esta situación genera grandes deformaciones en los neumáticos que son extraídos a 156°C como se ve en la Figura 43. Pese a esto, los ejemplares registrados nunca resultaron con daño permanente.

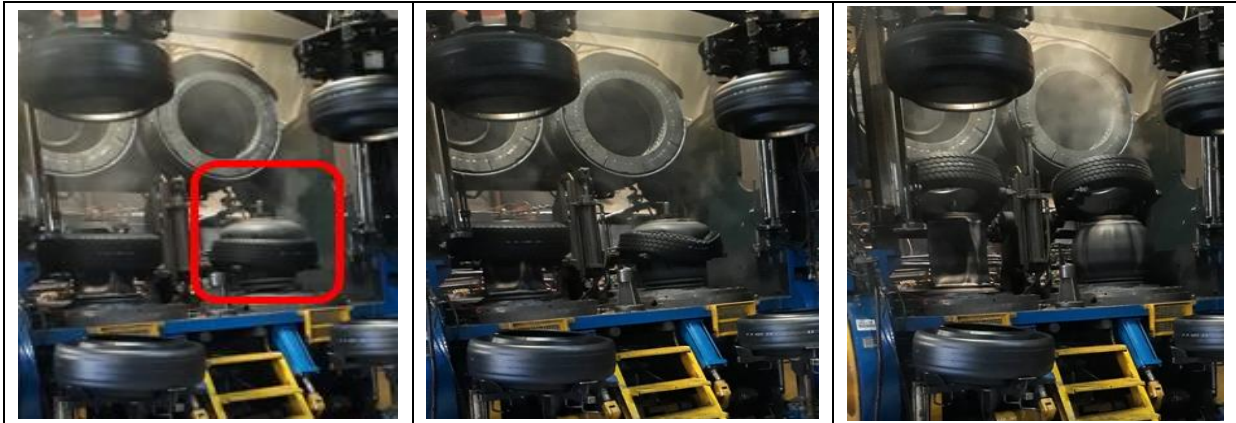


Figura 43. Fricción con Bladder durante la descarga de neumáticos.

c) Aplastamiento por sorteadora

Las sorteadoras, encargadas de detener el flujo de neumáticos para dar prioridad a otro conveyor, en ocasiones aplastan al neumático que circula bajo ellas. Esta situación se da con mayor frecuencia en la sorteadora que detiene el flujo de las líneas 100+200+300 debido a la gran cantidad de neumáticos que circulan. En efecto, mediante grabación, se midió que este hecho ocurre cada 3 minutos aproximadamente y la sorteadora tarda como máximo 30 segundos en volver a levantarse. En todos los casos registrados, como el de la Figura 44, los ejemplares resultaron sin daño permanente.

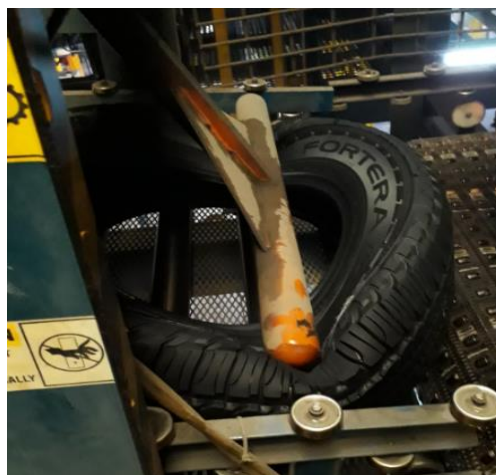


Figura 44. Neumático deformado por sorteadora.

d) Apretado por centradoras

Se observó que la centradora que regula el flujo de neumáticos provenientes de la línea 300, atrapa los neumáticos deformándolos hasta por 3 minutos como muestra la Figura 45. Los motivos de esto se explican en la Tabla 22 utilizando la herramienta de los “5 por qué”. Del total de casos observados y registrados (códigos de barra) ningún neumático resultó con deformación permanente, sin embargo esta situación puede agravarse a futuro y detener completamente el flujo de neumáticos.

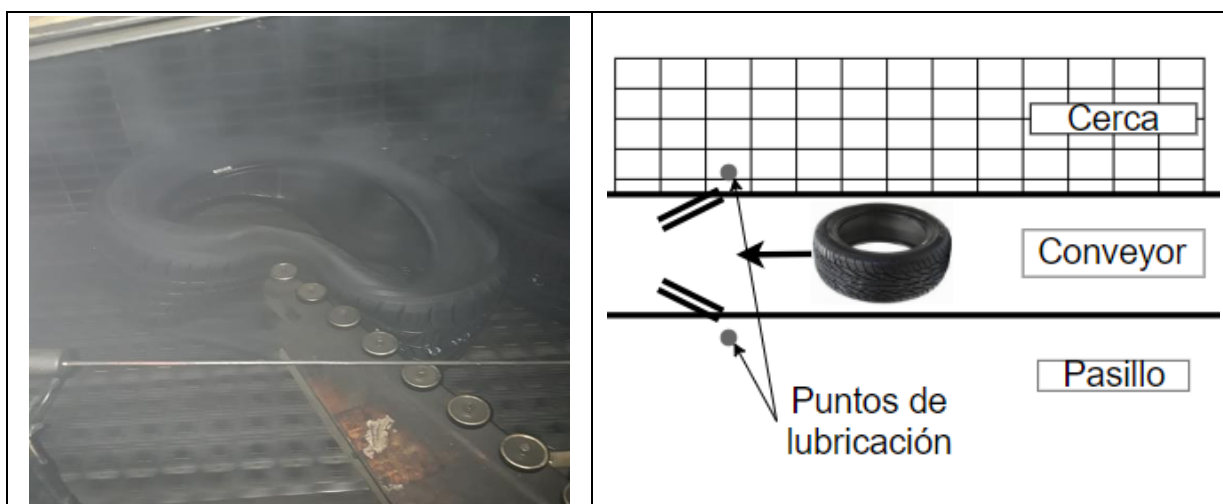


Figura 45. Neumático deformado por centradora.

Tabla 22. Uso de los “5 por qué” en el aplastamiento por centradora.

Problema	Centradora de conveyor comprime neumáticos.
¿Por qué?	Sensor de conveyor activa cierre de centradoras cuando aún circulan neumáticos, lo que genera plastamiento de los ejemplares.
¿Por qué?	Configuración de sensores supone que los neumáticos avanzan de manera libre y provee tiempo suficiente para que crucen a través de las centradoras, sin embargo, en la situación detectada esto no ocurre así.
¿Por qué?	El brazo lejano de la centradora no se abre completamente y retrasa el movimiento de los neumáticos, quedando éstos sin tiempo de cruzar.
¿Por qué?	Falta de lubricación en el brazo lejano impide su correcta apertura.
¿Por qué?	Los conveyor son correas transportadoras que circulan por lo alto de la planta. Existe sólo un pasillo a uno de los lados del conveyor por lo que resulta imposible alcanzar el punto de lubricación del brazo lejano (en el lado opuesto).
Conclusión	Facilitar acceso a punto de lubricación.

e) Neumáticos atrapados en compuertas

Se observó en compuertas como la de la Figura 46, que los neumáticos resultan atrapados indefinidamente como se expone en la Figura 47. En la Tabla 23 se explican las causas de esta situación utilizando la herramienta de los “5 por qué”.

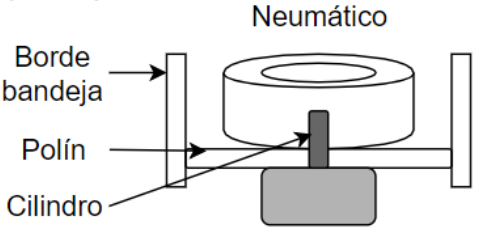
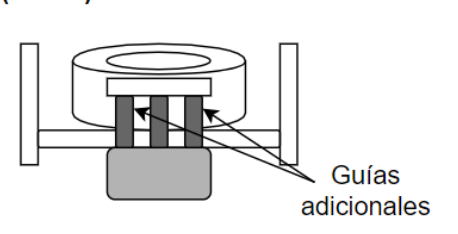


Figura 46. Compuerta que atrapa neumáticos



Figura 47. Neumático atrapado en compuerta.

Tabla 23. Uso de los “5 por qué” en compuerta que atrapa neumáticos.

Problema	Neumáticos atrapados en compuertas indefinidamente	
¿Por qué?	Neumáticos recién extraídos de prensa no concluyen su descenso para cuando la compuerta ya se levantó.	
¿Por qué?	Falta de coordinación entre el sistema de liberación y el de descarga.	
¿Por qué?	Compuertas recientemente instaladas.	
¿Por qué?	Antiguas compuertas dañaban neumáticos por detenerlos desde un único punto de contacto. Las actuales en cambio poseen dos guías adicionales desde las que detienen los neumáticos, sin embargo, cuando ascienden al interior de un neumático lo retienen indefinidamente (no así el anterior diseño).	
¿Por qué?	<p>(Antes)</p> 	<p>(Ahora)</p> 
¿Por qué?	Borde sobresaliente de la compuerta aprieta la pestaña de los neumáticos al descender.	
Conclusión	Coordinar sistemas de liberación y detención. Mejorar diseño de compuertas	

En estos casos, la deformación en pestaña sólo ocurre mientras la compuerta desciende en la liberación (10 segundos) y se repite cada 3 minutos en promedio. Esta situación se mantiene hasta que el operario de prensa se percata y reubica los neumáticos en las correas centrales. Del total de ejemplares registrados en esta situación, ninguno resultó con daño permanente, pero de esta situación se pueden generar otros casos más conflictivos que se verán a continuación.

f) Cola en bandeja

Cuando el operario de prensa tarda en detectar la presencia de un neumático apretado en compuerta, se genera cola en bandeja y los ejemplares comienzan a ejercer presión entre sí como muestra la Figura 48. Las colas también se generan cuando los neumáticos no descienden por bandeja sino hasta que se descarga un segundo ejemplar como se muestra en la Figura 49. La explicación de esto último se detalla en la Tabla 24.

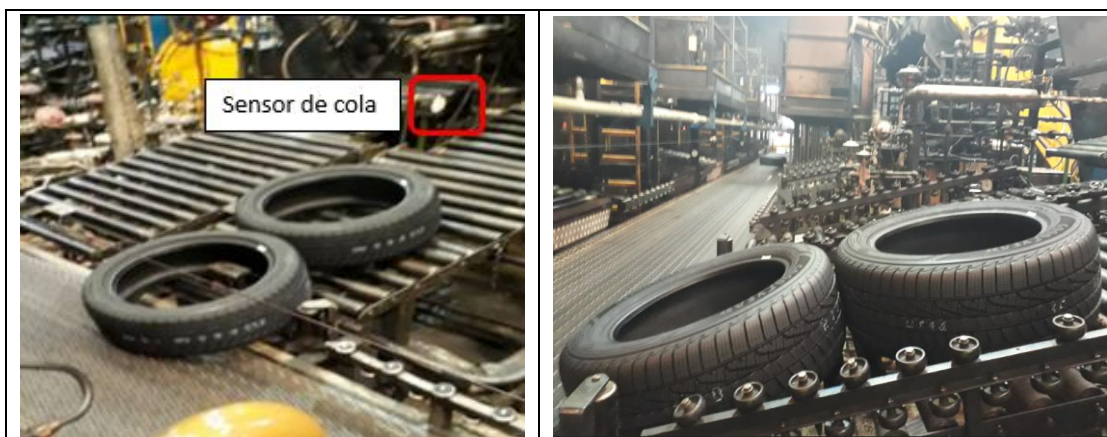


Figura 48. Cola en bandejas por neumático apretado en compuerta.



Figura 49. Cola por bandejas poco inclinadas

Tabla 24. Uso de los “5 por qué” para las colas.

Problema	Acumulación de neumáticos en bandejas de prensa.
¿Por qué?	Por neumático atrapado en compuerta (ya visto) o cuando neumáticos no descienden por bandeja.
¿Por qué?	Las bandejas presentan poca inclinación, falta de polines y/o desnivel de éstos, desfavoreciendo el descenso de los neumáticos.
¿Por qué?	Falta de inspección preventiva y correctiva en bandejas
¿Por qué?	Mecánicos y eléctricos a cargo de las mantenciones, distribuyen su tiempo en todas las intervenciones de la zona de vulcanización priorizando aquellas que afectan a prensas y sin quedar con tiempo para revisar elementos anexos como compuertas, bandejas y conveyor.
¿Por qué?	La prioridad está en las prensas ya que de ellas depende la producción, no así de las bandejas.
Conclusión	Actualizar plan de inspección preventiva y correctiva.

En las colas, la presión entre neumáticos es mínima, sin embargo cuando se supera el espacio en bandeja los brazos extractores ejercen presión sobre el último neumático y en ocasiones lo aprisionan como se muestra en la Figura 50. Para evitar este último escenario, existe un sensor (Figura 51) que detecta la cola en bandeja y detiene la descarga de nuevos neumáticos, de este modo se advierte al operario sobre una anomalía. Sin embargo, en base a entrevistas se detectó que algunos operarios no reconocen las anomalías y reanudan las descargas para no atrasar el proceso productivo.

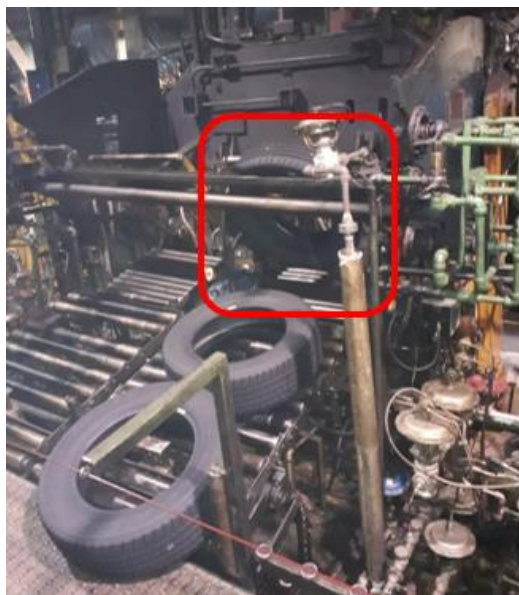


Figura 50. Neumático atrapado en brazo extractor.

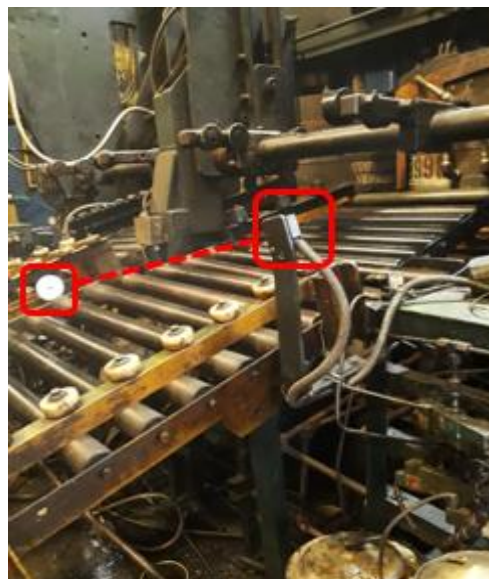


Figura 51. Sensor de bandeja.

De los ejemplares observados se concluyó que:

- Las colas de neumáticos que no superan el espacio en bandeja, no generan daño permanente en el producto
- Los neumáticos atrapados en brazos extractores son detectados visualmente por los operarios en la siguiente descarga (14 min), extraídos manualmente y rotulados como **Daño por Brazos Extractores** (falla que ocupa lugar 16 en ranking)

g) Atrapamientos en correa central

Se clasificó por atrapamiento en correa a las situaciones en que 2 o más neumáticos resultaban estancados en las correas centrales por fricción entre ellos y/o con los bordes; mientras la correa continua avanzando como se muestra en la Figura 52. Este tipo de situaciones favorece el daño de los laterales debido al roce forzado contra la correa intralox. En las Tablas 25, 26, 27, 28, 29 y 30 se describen las causas detectadas que generan los atrapamientos utilizando la herramienta de los “5 por qué”.



Figura 52. Atrapamiento de neumáticos.

Tabla 25. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (1).

Problema	Colisión de neumáticos en correa central (1)			
	Descenso de más de un neumático por bandeja.			
¿Por qué?				
¿Por qué?	Colas en bandejas (ya visto).			

Tabla 26. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (2).


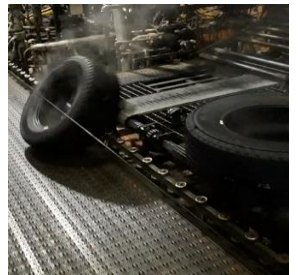

Problema	Colisión de neumáticos en correa central (2)		
¿Por qué?	Neumáticos alcanzan a otro que avanza lento por viajar ladeado sobre el borde de la correa.		
	El borde de las bandejas de las cavidades 113, 114, 205, 206, 207, 208, 239 y 240 se encuentra 30 centímetros por sobre la correa transportadora, motivo por el cual los neumáticos que descienden por ellas avanzan sobre los bordes de la correa, pudiendo quedar atrapados o incluso salir de ella.		
¿Por qué?			
Conclusión	Reducir diferencia de altura entre el borde de bandeja y la correa transportadora centra: bajar, inclinar, añadir extensión.		

Tabla 27. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (3).




Problema	Colisión de neumáticos en correa central (3)		
	Neumáticos atrapados en compuerta dificultan el avance de los que viajan por correa y generan atrapamientos cuando existe congestión (más de un neumático en correa central).		
¿Por qué?			
¿Por qué?	Colas en bandejas (ya visto)		

Tabla 28. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (4.1).

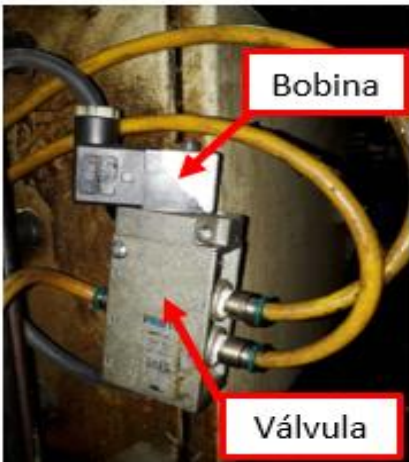




Problema	Colisión de neumáticos en correa central (4.1)	
¿Por qué?	Neumáticos que avanzan por correa central colisionan con otros que descieden fuera de ciclo de liberación.	
¿Por qué?	Porque hay bandejas con sistema de detención mediante compuerta que siempre se encuentran inactivas (bajas)	
¿Por qué?	Porque las mangueras que conducen la presión de aire se encuentran desconectadas del sistema de suministro.	
	Los operarios las desconectan manualmente porque prefieren que los neumáticos descieran libre y no tener que liberarlos en caso de quedar atrapados en ellas.	
¿Por qué?		
Conclusión	Añadir poka-yoke que evite la desactivación. Capacitación a operarios.	

Tabla 29. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (4.2).

Problema	Colisión de neumáticos en correa central (4.2)		
¿Por qué?	Neumáticos que avanzan por correa central colisionan con otros que descieden fuera de ciclo de liberación.		
¿Por qué?	Bandejas de cavidades 400B, 417, 418, 419, 420 que poseen bandeja de polines móvil, no logran detener el descenso de los neumáticos.		
¿Por qué?			
¿Por qué?	Retraso en el levantamiento de bandejas que evita el avance.		
¿Por qué?	Sincronización obsoleta por falta de mantención en bandejas (ya visto).		

Tabla 30. Uso de los “5 por qué” para los atrapamientos en correa (4.3).

Problema	Colisión de neumáticos en correa central (4.3)		
¿Por qué?	Neumáticos que avanzan por correa central colisionan con otros que descieden fuera de ciclo de liberación.		
¿Por qué?	En ocasiones los neumáticos de las cavidades 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111 y 112; luego de caer de los brazos extractores rebotan en bandeja y caen: en la correa central colisionando con otros neumáticos, sobre otros neumáticos o fuera del camino.		
¿Por qué?			
¿Por qué?	Las prensas de dichas cavidades son más altas que el resto de la línea por lo que las bandejas y brazos extractores son más inclinados.		
Conclusión	Reducir alto de prensas. Reducir ángulo de inclinación de brazos extractores y/o bandejas.		

A causa de los atrapamientos las correas centrales no se vacían, de modo que no se continúan liberando neumáticos y se generan colas en bandeja (problema iterativo). Cuando el operario nota que más de una prensa paralizó la descarga automática de neumáticos, comprende que existe una anomalía en la correa. Al verificar la presencia de un atrapamiento debe reordenar los neumáticos utilizando sus guantes de trabajo como se muestra en la Figura 53.



Figura 53. Corrección de atrapamientos.

La detección de un atrapamiento puede extenderse por más de 30 minutos debido a que el espacio en bandeja permite que continúen las descargas con normalidad antes de que el sensor de bandeja informe anomalía (por haber cola en bandeja). Mediante las bases de datos se corroboró la generación de scrap en horas en que se avistaron atrapamientos prolongados.

Se debe tener en cuenta que los neumáticos que generan atrapamientos pueden no resultar deformes, pero si pueden dañar a otros empeorando así el indicador scrap de otras cavidades. Este es el caso de las cavidades 417 a la 440 que, como ya fue mencionado, en ocasiones no detienen correctamente sus neumáticos y generan colisiones. Pese a lo anterior, gracias al enfriamiento por reposo en brazos extractores de las líneas 417 a 440, sus ejemplares poseen mayor resistencia al daño. Esto se refleja en el indicador scrap de la Figura 54.

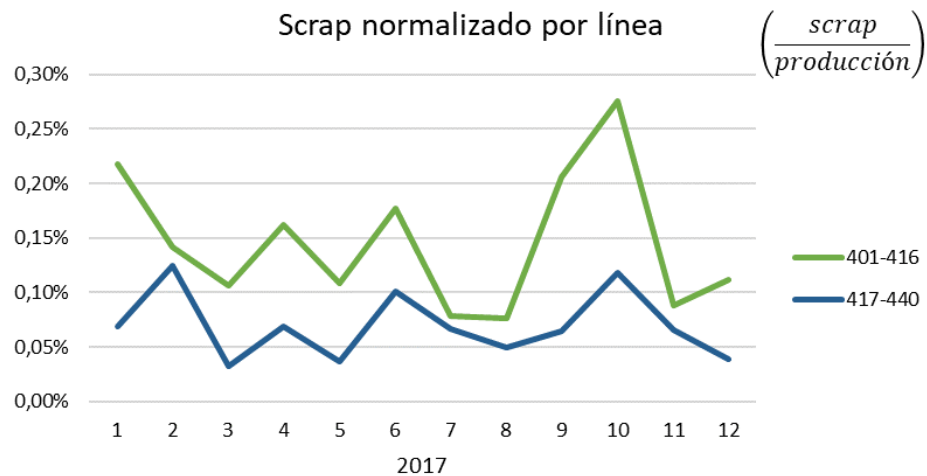


Figura 54. Indicador scrap normalizado en la línea 400.

h) Interrupción de correa transportadora (central y conveyor)

Las interrupciones consisten en la paralización prolongada (más de 15 min) del movimiento de las correas transportadoras, lo que genera congestión (Figura 55) y por lo tanto deformación en los neumáticos. En base a entrevistas con operarios, mecánicos y eléctricos de la zona, se identificaron 2 causas generadoras de interrupción explicadas a continuación.

La primera causa son fallas eléctricas y mecánicas como: corte de suministro eléctrico y tarjetas de tablero quemadas, sensores caídos, desarme de correas, sorteadoras caídas (Figura 56) y fuga de aire en compuertas de conveyor (sorteadoras, centradoras ,etc). El único medio para registrar la ocurrencia de fallas eléctricas y mecánicas es el sistema informático SAP cuando se solicitan repuestos para atender las fallas. Sin embargo, no siempre se requieren materiales y además, para la zona de vulcanización, no existe en SAP la subcategoría “correa transportadora”, “correa central” o “conveyor”, de modo que las intervenciones se asignan erróneamente a “prensas”.



Figura 55. Congestión por interrupción de correas transportadoras.

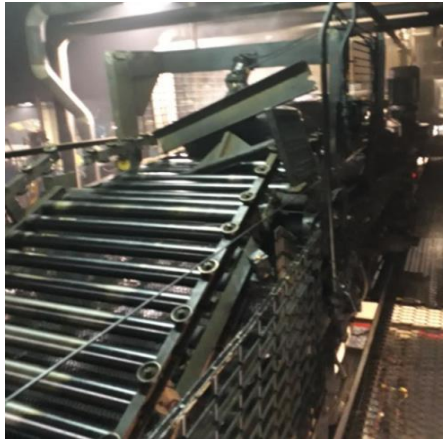


Figura 56. Interrupción por sorteadora caída.

La segunda causa de interrupción es la falta de capacidad de inspección post-vulcanización como se explica en la Figura 57. A causa de esto, los conveyors comienzan a saturarse y los sensores ordenan la interrupción en serie del movimiento de las correas. La situación se agrava durante horarios de colación rotativo, descanso de los inspectores, o ausencia al trabajo; ya que la capacidad de inspección se reduce en 1,6 ntcos/min por inspector. En cambio, cuando una cavidad está en mal estado, set up (1 hora) u otra circunstancia que detenga su operación; la capacidad de vulcanizado se reduce apenas en 0,07 ntcos/min. De modo que inspección post-vulcanizado representa un cuello de botella del proceso.

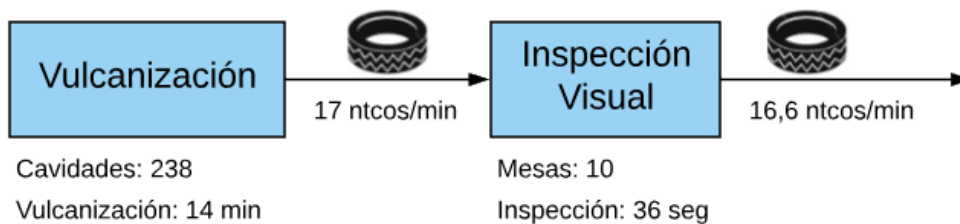


Figura 57. Falta de capacidad en inspección post-vulcanización.

Las interrupciones son detectadas por los operarios de prensa cuando la congestión en correa central es muy notoria (más de 30 min). Los operarios informan a mecánicos y/o eléctricos el hecho y estos últimos comienzan la exploración y posterior intervención. Cuando la congestión supera la capacidad en conveyor, correa central y bandejas de prensa; los operarios comienzan a retirar los neumáticos del cabezal, los acumulan en el suelo y de forma manual: reactivan la correa, ordenan liberación y vacían bandejas. De esta manera se continúa la descarga de neumáticos y se espera la corrección de la falla para poder reinsertar los neumáticos retirados.

i) Congestión en conveyor de zona de testeo.

Los neumáticos que resultaron conforme en la zona de inspección post-vulcanizado, continúan su viaje mediante conveyor por la zona de testeo. En esta nueva zona los neumáticos ya no resultan dañados, pese a la presencia de congestión y vías inclinadas que favorecen la deformación como se muestra en la Figura 58. Esta situación servirá de referencia para el análisis de cierre del capítulo.



Figura 58. Congestión en conveyor de zona testeo.

9.2. Análisis de cierre





En base al análisis previo se concluye que la deformación de neumáticos depende de 3 variables: fuerza deformadora, temperatura y tiempo de exposición. La Tabla 31 resume la relación de estas variables en las situaciones conflictivas observadas. Se deriva de esto que para que exista deformación permanente se requiere que:

- Los neumáticos mantengan temperaturas sobre los 70°C
- Los neumáticos interactúen con fuerzas deformadoras
- El tiempo de interacción sea mayor a 14 min.

Con esto en consideración, se ordenan en el diagrama de causa y efecto del Anexo C Figura 84, las causas generadoras de daño permanente en neumáticos identificadas mediante la herramienta de los “5 por qué”.

Tabla 31. Interacción de variables fuerza, temperatura y tiempo.

Situación	Fuerza*	Temperatura	Tiempo	Daño
Fricción de Bladder 	Alta	≈ 156°C	≤ 1 min	Temporal
Aplastamiento por sorteadora 	Alta	≈ 120°C	≤ 30 seg	Temporal
Compresión por centradora 	Alta	≈ 117°C	≤ 3 min**	Temporal
Atrapado en compuerta 	Alta	≤ 156°C ≥ 120°C	≤ 10 seg	Temporal
Cola en bandeja 	Baja	≤ 156°C ≥ 120°C	≥ 14 min	Temporal

<p>Atrapado en brazo extractor</p> 	<p>Alta</p>	<p>≈ 156°C</p>	<p>≈ 14 min</p>	<p>Permanente</p>
<p>Atrapamiento en correa central</p> 	<p>Alta</p>	<p>≤ 156°C ≥ 120°C</p>	<p>≥ 30 min</p>	<p>Permanente</p>
<p>Congestión por interrupción</p> 	<p>Media</p>	<p>≈ 120°C</p>	<p>≥ 30 min</p>	<p>Permanente</p>
<p>Congestión zona testeo</p> 	<p>Alta</p>	<p>≤ 65°C</p>	<p>≤ 1 min</p>	<p>Temporal</p>
<p>* Se describe la magnitud de la fuerza en función del nivel de deformación observado. ** Tiempo puede extenderse frente a interrupciones que saturan los conveyors de neumáticos.</p>				

La ocurrencia de las situaciones detectadas no son independientes, sino que existe correlación entre ellas como se explica a continuación:

- La congestión generada por interrupciones y atrapamientos, propician la formación de colas en bandeja y con ello futuros atrapamientos
- La congestión en conveyor generada por interrupciones, aumenta el tiempo de deformación de situaciones que antes no generaban daños permanentes (neumáticos aplastados por centradoras)

10. Propuestas de mejora

En este capítulo se proponen y evalúan mejoras al actual sistema de transporte de neumáticos a fin de reducir los niveles de scrap generados.

10.1. Propuestas

El daño permanente ocurre en neumáticos a altas temperaturas que son deformados durante un periodo extenso (mayor a 14 minutos). En otras palabras, para evitar daños permanentes existen 3 caminos: evitar las fuerzas deformadoras, reducir la temperatura de los neumáticos o reducir los tiempos de deformación. Al respecto se plantean 5 medidas de control descritas en la Tabla 32 y en base a las cuales se listan a continuación las propuestas de mejora.

Tabla 32. Directrices de mejora en el proceso de transporte.

Variable	Medidas de control
Fuerza	Corrección de anomalías en el transporte actual de neumáticos.
Tiempo	Crear sistema de detección y alerta temprana sobre la generación de atrapamientos e interrupciones.
	Definir plan de contingencia frente a atrapamientos e interrupciones.
Temperatura	Añadir zonas de enfriamiento (Cooling).
	Replicar sistemas de detención que enfrían neumáticos por reposo.

10.1.1. Corrección de anomalías

a) Corrección de compuertas que atrapan neumáticos.

A partir de las causas raíces detectadas, se desprenden 3 propuestas descritas a continuación:

Coordinar la descarga y detención de neumáticos

Se busca evitar que los neumáticos desciendan de prensa mientras la compuerta de bandeja permanezca baja. Esto se consigue reconfigurando un dispositivo denominado Controlador Lógico Programable (PLC) que actualmente se encarga de controlar y automatizar los procesos de detención y liberación de neumáticos. El ingeniero de software de la zona vulcanización es quien realiza esta labor sin requerir la adquisición de nuevos materiales. En la Tabla 33 se evalúan los costos de esta propuesta:

Tabla 33. Costos de coordinar la descarga y detención de neumáticos.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario ingeniero de software: 1.200.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio ingeniero informático) por trabajar 176 horas al mes. • Compuertas a intervenir: 116. • Horas requeridas por cavidad: 2 hrs (fuente: entrevista con ingeniero de planta) • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Ingeniero de software	US\$ 10,5	232 hrs	US\$ 2.437

Modificar el diseño de las compuertas

De las compuertas que atrapan neumáticos, actualmente existen 61 que han sido modificadas como se muestra en la Figura 59. Una pieza metálica se añadió en la zona donde la compuerta tiene contacto con los neumáticos de modo que no apriete la zona de pestañas. De este modo, aunque las compuertas se levanten al interior de un neumático que esta descendiendo, lo podrán liberar al siguiente ciclo de liberación.



Figura 59. Rediseño de compuertas

Existen 65 compuertas listadas en la Tabla 34 que carecen de este diseño. Esta labor requiere la creación de 65 placas de bronce de 1,5 mm de espesor, y el trabajo de un mecánico y soldador. En la Tabla 35 se evalúan los costos de esta propuesta:

Tabla 34. Compuertas sin diseño mejorado.

Línea	Compuerta según cavidad de procedencia.
100	105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138
200	202, 209, 210, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 233, 234, 235, 236, 237, 238
400	401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415

Tabla 35. Costos de mejorar el diseño de compuertas.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario mecánico/soldador: 850.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico mecánico industrial) por trabajar 176 horas al mes. • Compuertas a intervenir: 65. • Horas requeridas por compuerta: 2 hrs (fuente: entrevista con mecánicos de planta). • Costo plancha de bronce de 1,5 mm de espesor: US\$ 1,59 por kilogramo (fuente: cotización en bodega de planta). • Peso piezas de 17x14 cm²: 0,28 kg. • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Mecánico	US\$ 7,44	130 hrs	US\$ 967
Soldador	US\$ 7,44	130 hrs	US\$ 967
Materiales	[por kg]		
Placas de bronce	US\$ 1,59	18.2 kg	US\$ 29
TOTAL			US\$ 1.963

Cambiar compuertas

De manera más radical, se puede cambiar el tipo de compuerta utilizada por las otras alternativas existentes, sin embargo esta propuesta es notoriamente más cara que las anteriores pues se incurre en labores y costos de: desinstalación, adquisición e instalación.

Tabla 36. Matriz de evaluación de propuestas para corregir atrapamientos en compuerta.

Propuesta	Complejidad	Costo	Efectividad
Coordinación	Baja	US\$ 2.383	Alta
Mejora	Baja	US\$ 1.921	Media
Recambio	Alta	Alto	Alta

La matriz de evaluación de la Tabla 36, contrasta las ventajas y desventajas de las propuestas descritas. La mayor efectividad de la propuesta de coordinación radica en que los neumáticos nunca resultan atrapados en compuerta, de modo que no obstaculizan el paso de los que transitan por correa central. Se considerarán ambas propuestas para la evaluación económica final.

b) Nivelación de bandejas muy elevadas.

Las bandejas de las cavidades 113, 114, 205, 206, 207, 208, 239 y 240 favorecen la colisión de neumáticos y por lo tanto la generación de atrapamientos. Como fue examinado (Tabla 26), esto se debe a su elevado borde respecto a la correa central. Para corregir esto se proponen 3 contramedidas resumidas en la Figura 60 y explicadas a continuación:

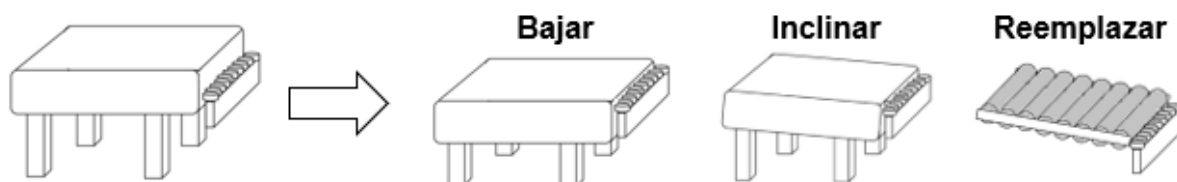


Figura 60. Reducción de la elevación en bandejas.

Inclinar bandeja

Esta medida consiste en reducir el alto del extremo más cercano de la bandeja de modo que los neumáticos desciendan sin cambio de altura. Para conseguir esto se requiere la intervención de un mecánico, soldador, auxiliar de soldador y operario de grúa (que sostenga la bandeja). El costo de implementar esta solución se detalla en la Tabla 37:

Tabla 37. Costos de inclinar bandejas.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario mecánico/soldador/auxiliar: 850.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico mecánico industrial) por trabajar 176 horas al mes. • Salario operario grúa horquilla: 500.000 CLP (fuente: sitio web “indeed”, media salarial) por trabajar 176 horas al mes. • Bandejas a intervenir: 8. • Horas requeridas por bandeja: 3 hrs (fuente: entrevista con mecánicos de planta). • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Mecánico	US\$ 7,44	24 hrs	US\$ 179
Soldador	US\$ 7,44	24 hrs	US\$ 179
Auxiliar	US\$ 7,44	24 hrs	US\$ 179
Operario grúa	US\$ 4,37	24 hrs	US\$ 105
TOTAL			US\$ 642

Bajar bandeja

Similar a la medida anterior pero reduciendo el alto total de la bandeja. Esta medida es igual de eficaz que la anterior, sin embargo es más cara y compleja (horas requeridas) pues se deben intervenir el doble de soportes y adecuar la bandeja de polines donde son recibidos los neumáticos en primera instancia como se muestra en la Figura 61.

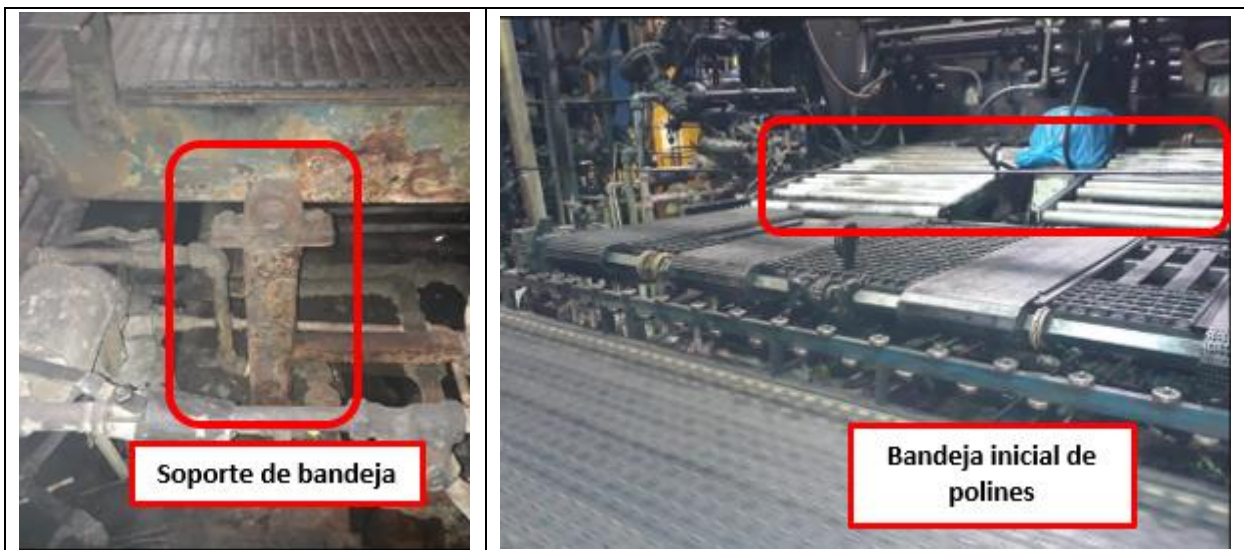


Figura 61. Soporte lateral y pendiente de polines en bandejas de cinta.

Reemplazar bandeja

Al igual que con las compuertas, existe la opción extrema de utilizar otro tipo de bandeja (polines). Naturalmente esta opción resulta más cara y compleja que el resto.

Por lo tanto la opción de inclinar las bandejas resulta más eficiente (costo y complejidad)

c) Reducir inclinación de descarga de prensas altas

Los neumáticos que descienden de las cavidades 105, 106, 207, 108, 109, 110, 111 y 112 suelen rebotar en bandeja y caer directamente a la correa central, sobre la compuerta o fuera del circuito. Esto se debe a la mayor altura que poseen las prensas respecto al resto de la línea, obligando a utilizar bandejas más largas e inclinadas. Para abordar esta situación surge la siguiente propuesta:

Arquear brazos extractores

Consiste en extender el largo de los brazos extractores de forma arqueada con el fin de reducir la fuerza y ángulo de la caída como se muestra en la Figura 62. Para extender los brazos extractores se utilizará la misma pieza que está instalada en bordes a lo largo del circuito de transporte (en bandejas, en correa central y en conveyor) como se ejemplifica en la Figura 63. Los costos de implementar esta medida se exponen en la Tabla 38.

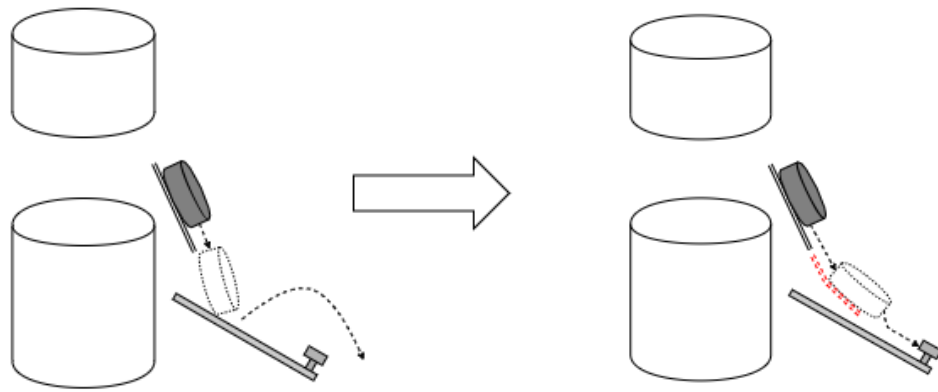


Figura 62. Arqueo de brazos extractores.

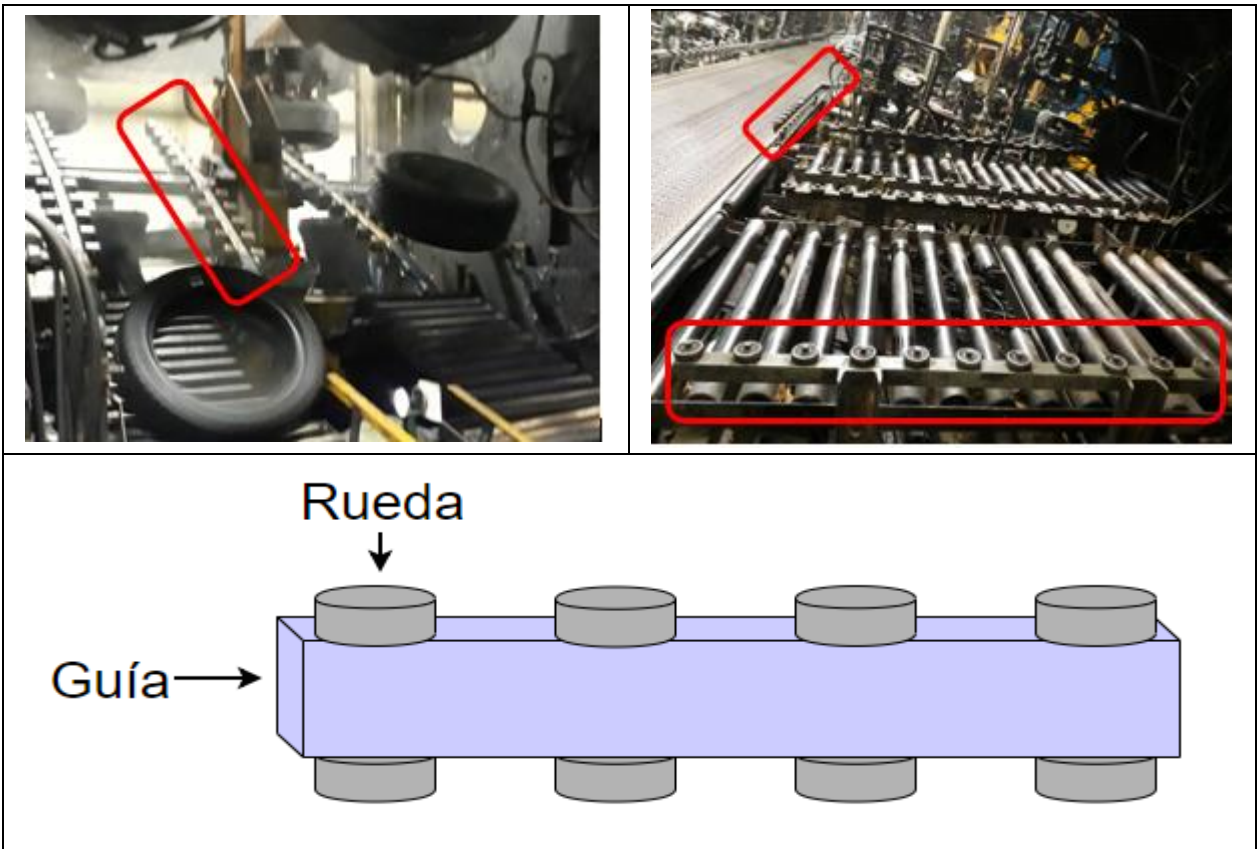


Figura 63. Extensión de brazo extractor.

Tabla 38. Costos de extender y arquear brazos extractores.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario mecánico/soldador: 850.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico mecánico industrial) por trabajar 176 horas al mes. • Brazos a intervenir: 16 (2 por cavidad). • Costo extensión: 0 (abundantes estantería de repuestos de planta). • Horas requeridas por brazo: 1 hr (fuente: entrevista con mecánicos de planta). • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Mecánico	US\$ 7,44	16 hrs	US\$ 119
Soldador	US\$ 7,44	16 hrs	US\$ 119
TOTAL			US\$ 238

d) Corregir punto de lubricación en centradoras

Como fue mencionado, la lubricación de las centradoras en el brazo opuesto al pasillo de conveyor es nula por su difícil acceso. La oportunidad para lubricar los brazos se genera en las paradas de planta (5 veces al año) pues es posible adentrarse a las correas ausentes de neumáticos. En los conveyor de la zona de testeo también existía esta problemática, sin embargo se corrigió instalando una manguera de fácil acceso que comunica al punto de lubricación lejano. La Tabla 39 resume los costos de replicar esta medida en las centradoras de zona vulcanización.

Tabla 39. Costos de mejorar punto de lubricación en centradoras.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario mecánico: 850.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico mecánico industrial) por trabajar 176 horas al mes. • Centradoras a intervenir: 3. • Horas requeridas por centradora: 1 hrs (fuente: entrevista con mecánicos de planta). • Costo manguera de lubricación de 1.5 m (60’): US\$ 12,25 (fuente: cotización en tienda “Universal Hose and Fittings”). • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Mecánico	US\$ 7,44	3 hrs	US\$ 22
Materiales			
Manguera de lubricación	US\$ 12,25	3	US\$ 37
TOTAL			US\$ 59

e) Corregir estado de bandejas 301, 302 y 321.

Se observó generación de colas en las bandejas de cavidades 301, 302 y 321 por falta de inclinación y/o falta de polines como se muestra en las Figura 64, 65 y 66. Mientras los neumáticos de las bandejas 321 y 322 se detienen antes de tocar la compuerta, los de la baneja 301 descenden lentamente favoreciendo que queden atrapados por la compuerta al elevarse. Los costos de intervenir las bandejas para aumentar su inclinación y reponer polines se detallan en la Tabla 40.

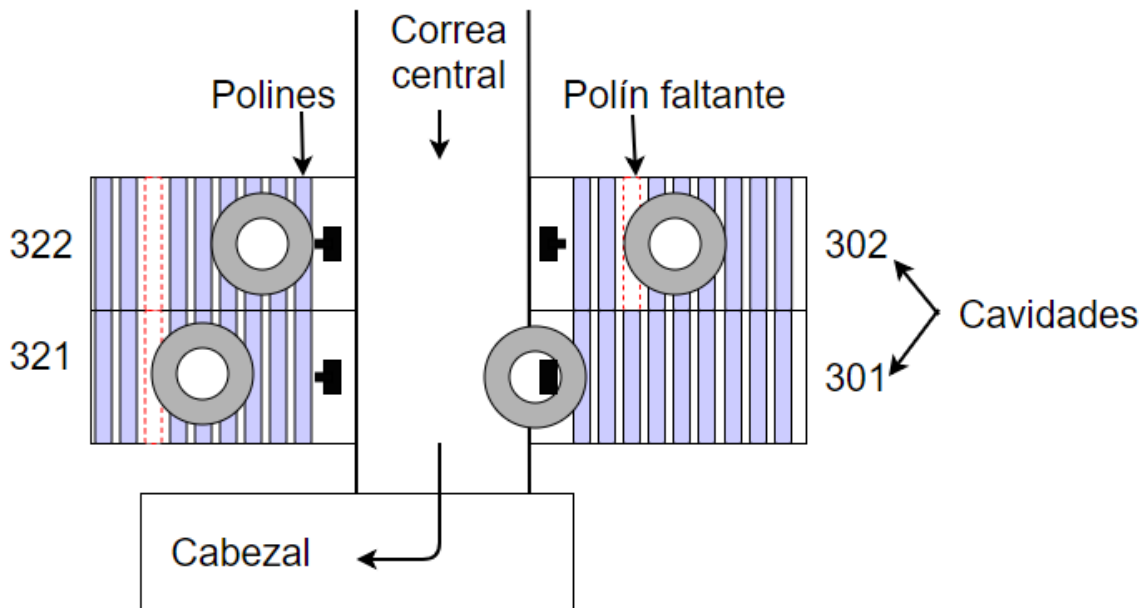


Figura 64. Bandejas con falta de polines y/o poco inclinadas.

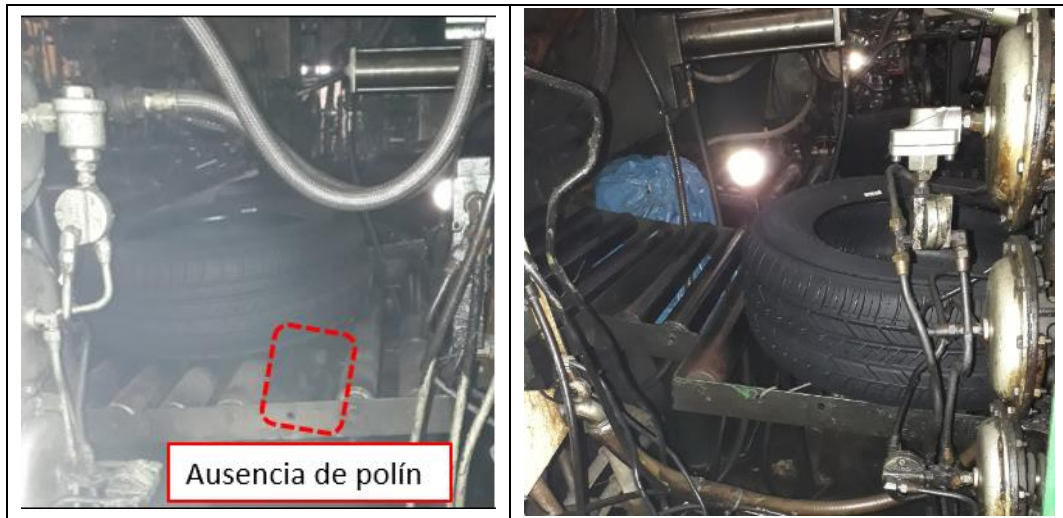


Figura 65. Falta de polines e inclinación en bandeja.

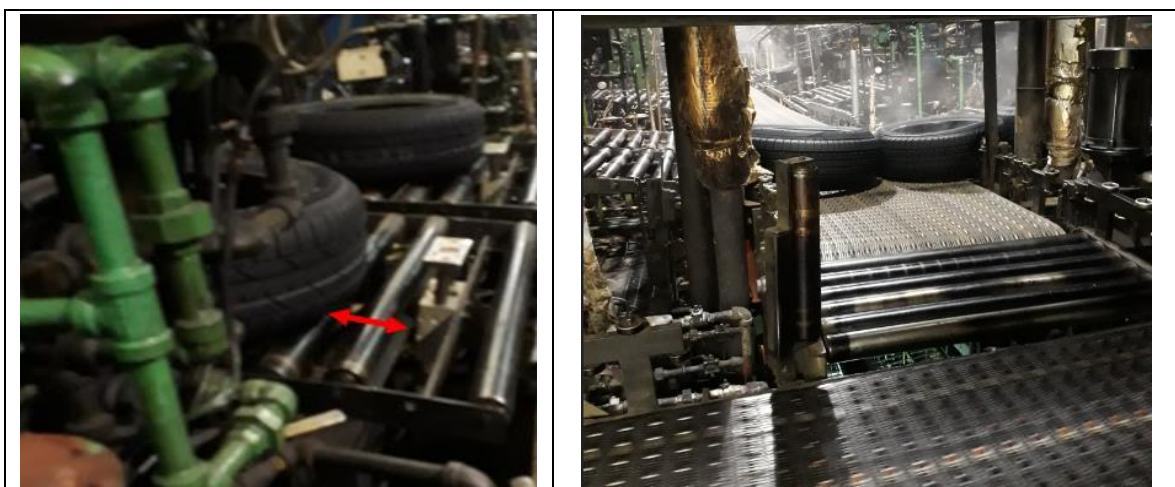


Figura 66. Descenso fallido de neumáticos en bandeja.

Tabla 40. Costo de corregir bandejas con poca inclinación.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario mecánico/soldador: 850.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico mecánico industrial) por trabajar 176 horas al mes. • Bandejas a intervenir: 3 • Horas requeridas por bandeja: 2 hrs (fuente: entrevista con mecánicos de planta). • Costo polines: 0 (abundantes estantería de repuestos de planta). • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Mecánico	US\$ 7,44	6 hrs	US\$ 45
Soldador	US\$ 7,44	6 hrs	US\$ 45
TOTAL			US\$ 90

f) Corregir funcionamiento de bandeja 428, 430 y 440.

El mecanismo de detención en bandejas de cavidades 428, 430 y 440 no funciona actualmente y los neumáticos descienden libremente generando colisiones. Esto se debe a que las bandejas no se elevan a tiempo para cuando los neumáticos ya están por caer en la correa central (Figura 67). Esto se corrige mediante la intervención de un mecánico que realice mantenimiento a las bandejas (limpieza y engrasado) y un eléctrico que recalibre el funcionamiento de la bandeja. Los costos de esta medida se detallan en la Tabla 41.

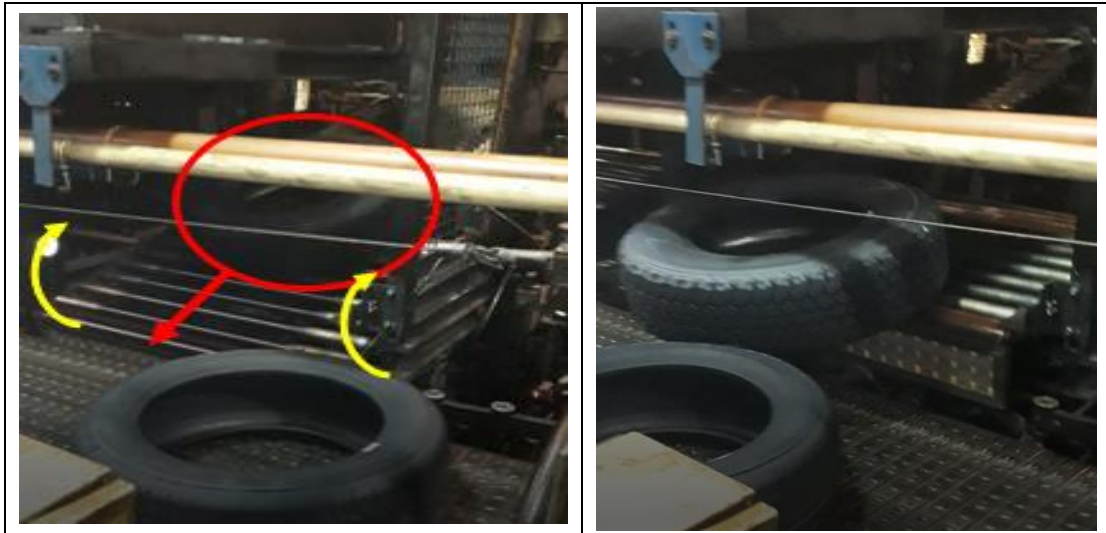


Figura 67. Funcionamiento incorrecto de bandejas.

Tabla 41. Costo de corregir funcionamiento de bandejas 428, 430 y 440.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario mecánico: 850.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico mecánico industrial) por trabajar 176 horas al mes. • Salario eléctrico: 750.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico en electricidad industrial) por trabajar 176 horas al mes. • Bandejas a intervenir: 3 • Horas requeridas por bandeja: 2 hrs el mecánico y 1 hora el eléctrico (fuente: entrevista con mecánicos y eléctricos de planta). • Costo polines: 0 (abundantes estantería de repuestos de planta). • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Mecánico	US\$ 7,44	6 hrs	US\$ 45
Eléctrico	US\$ 6,57	3 hrs	US\$ 20
TOTAL			US\$ 65

g) Aumento de capacidad en zona inspección post-vulcanización.

La capacidad actual de inspección post-vulcanización representa un cuello de botella para el proceso de transporte actual. Con los 10 inspectores actuales (por turno) se obtiene una capacidad de 16,6 neumáticos por minuto, lo que resulta inferior a la capacidad de curado de 17 neumáticos por minuto. Para corregir este hecho, se requiere contratar a un inspector adicional (por turno) con lo que se alcanzaría una capacidad de 18,3 neumáticos por minuto.

En la actualidad no hay espacio suficiente para añadir una mesa de inspección adicional, sin embargo existe una zona de poco uso denominada “Valvula de alivio” utilizada para descongestionar el conveyor en caso de fallas y/o congestión como muestra la Figura 68. Esta zona podría ser utilizada por el inspector adicional, quien luego de revisar los neumáticos y rotularlos como “ok” o con el “código” de la falla detectada, los reincorporaría al circuito. La Tabla 42 resume los costos de implementar esta medida.

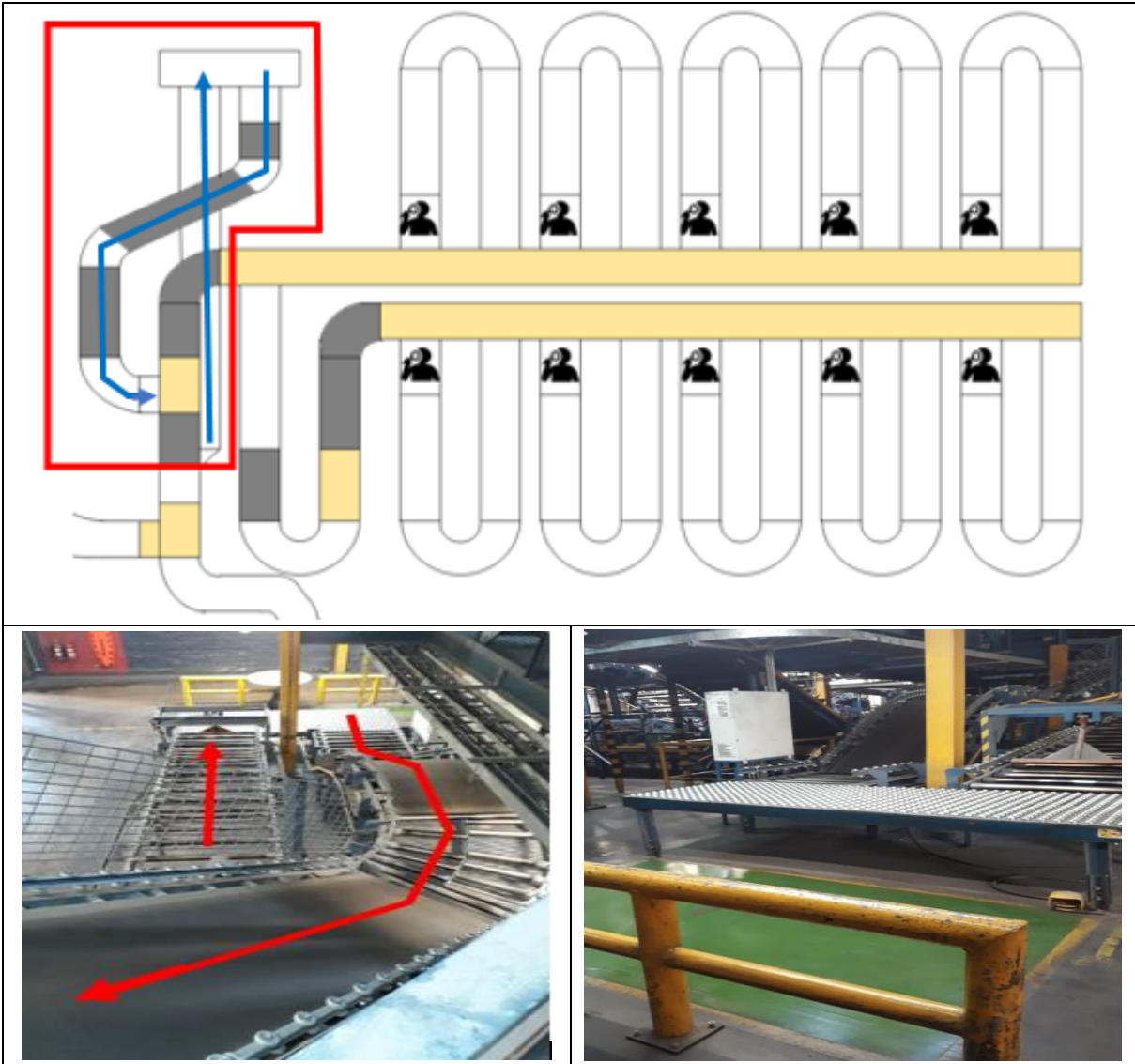


Figura 68. Válvula de alivio en zona inspección post-vulcanización.





Tabla 42. Costo de contratar inspector adicional.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario inspector: 300.000 CLP (fuente: sitio web “Un mejor empleo”, oferta de trabajo operario de producción para Goodyear Chile) por trabajar 176 horas al mes. • Cantidad de inspectores: 4 para los turnos rotativos 6x2. • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Salario	[por mes]		[por mes]
Inspector	US\$ 462,25	4	US\$ 1.849
TOTAL			US\$ 1.849

h) Inspección y mantención

En la actualidad, se han planteado labores de inspección y mantención para la zona de vulcanizado, en donde la prioridad la tienen las prensas. Al respecto, se sugiere incorporar la revisión visual de las posibles anomalías listadas anteriormente, en el plan de revisión dispuesto actualmente (Tabla 43). Si bien estas acciones tienen costos asociados (horas hombre y materiales), actualmente ya son considerados en el gasto de Goodyear Chile.

Tabla 43. Aspectos para considerar en inspecciones y mantenciones preventivas.

Bandejas	
<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de polines • Nivelación de la bandeja y/o polines 	
Brazos extractores	
<ul style="list-style-type: none"> • Simetría de los brazos (largo, curvatura) 	
Sorteadoras, centradoras, rampas y motopolines	
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de lubricación • Corregir filtraciones (de aceite o aire) • Corregir desconexiones eléctricas • Corregir anclaje de soportes y pernos 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>

10.1.2. Sistema de detección y alerta temprana

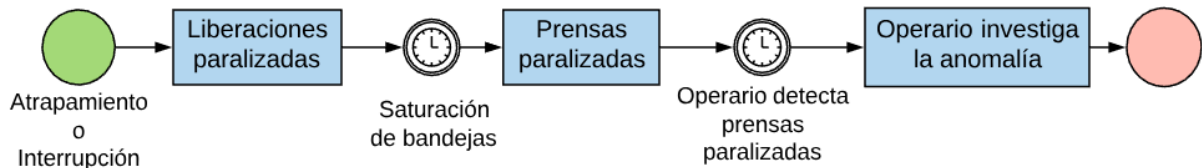


Figura 69. Actual sistema de detección de atrapamientos e interrupciones.

La Figura 69 describe el actual sistema de detección de atrapamientos y/o interrupciones, el cual responde a los siguientes 2 síntomas:

1) Cesan las liberaciones de neumáticos

Cuando acontece un atrapamiento de neumáticos, se paralizan las liberaciones ya que la correa central no se desocupa. Lo mismo ocurre con las interrupciones del movimiento de los conveyors, ya que por saturación de neumáticos, las correas comienzan a detenerse sucesivamente hasta llegar a la correa central evitando la liberación de nuevos neumáticos.

2) Cesan las descargas de neumáticos

Frente a atrapamientos y/o interrupciones, las prensas continúan vulcanizando y descargando neumáticos hasta saturar el espacio en bandeja. Algunas bandejas tienen capacidad de hasta tres neumáticos mientras que otras sólo de uno; esto genera variación en los tiempos de saturación. Existe un sensor en bandeja que detecta la saturación y paraliza las descarga de nuevos neumáticos.

Cuando las prensas se paralizan por saturación de bandeja, no entregan un mensaje claro de la causa en sus tableros de control. Esto motiva a los operarios a obviar el hecho y a activar la descarga automática reanudando el proceso de vulcanización. Cuando los operarios se percatan de que más de una prensa se encuentra paralizada, revisan el estado de la correa central y descubren el atrapamiento o interrupción existente.

El mecanismo de detección actual permite que ocurran deformaciones permanente debido a los extensos tiempos involucrados. Para reducir estos tiempos se propone lo siguiente:

a) Reubicar sensores de bandeja

Se sugiere trasladar los sensores de bandeja a un punto en el cual detecten el primer neumático esperando a ser liberado como se muestra en la Figura 70. De este modo las prensas detendrán su siguiente descarga (14 minutos) y se evitan las colas en bandeja y por lo tanto, posibles atrapamientos futuros. Los costos de implementar esta medida se detallan en la Tabla 44.

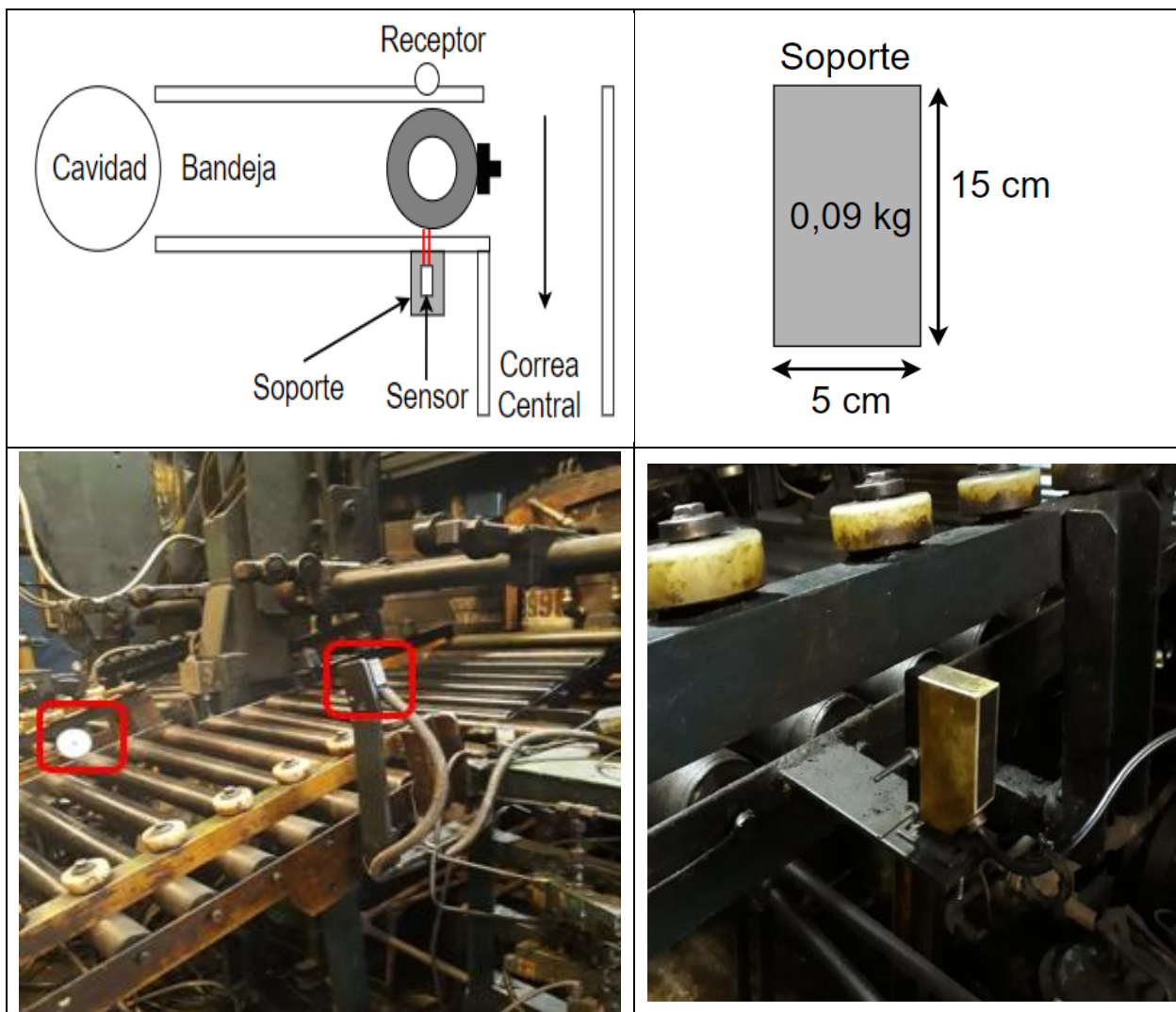


Figura 70. Reubicación de sensores.

Tabla 44. Costos de reubicar los sensores.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario mecánico/soldador: 850.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico mecánico industrial) por trabajar 176 horas al mes. • Salario eléctrico: 750.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico en electricidad industrial) por trabajar 176 horas al mes. • Bandejas a intervenir: 136 (líneas 100, 200, 300 y 400A). • Horas requeridas por bandeja: 2 hrs (fuente: entrevista con mecánicos y eléctricos de planta). • Costo plancha de bronce de 1,5 mm de espesor: US\$ 1,59 por kilo (fuente: cotización en bodega de planta). • Peso soportes de 15x5 cm²: 0,09 kg. • Conectores eléctricos: 0 (se mantienen los conectores actuales). • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Mecánico	US\$ 7,44	272 hrs	US\$ 2.024
Soldador	US\$ 7,44	272 hrs	US\$ 2.024
Eléctrico	US\$ 6,57	272 hrs	US\$ 1.787
Materiales	[por kg]		
Soportes de bronce	US\$ 1,59	12.24 kg	US\$ 19
TOTAL			US\$ 5.854

b) Modificar mensaje en tablero de prensa

Consiste en intervenir los tableros de prensa para que entreguen un mensaje claro cuando los sensores detecten neumáticos en bandejas. El mensaje debe dar a conocer el motivo de la parada e indicar al operario las acciones a realizar. Los costos de implementar esta mejora se detallan en la Tabla 45.

Tabla 45. Costo de añadir mensaje en tablero de prensa.

Datos			
<ul style="list-style-type: none"> • Salario ingeniero de software: 1.200.000 CLP (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio ingeniero informático) por trabajar 176 horas al mes. • Tableros a intervenir: 68 (las prensas tienen 1 tablero para sus 2 cavidades). • Horas requeridas por tablero: 1 hrs (fuente: entrevista con ingeniero de software de planta). • Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017). 			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Ingeniero de software	US\$ 10,5	68 hrs	US\$ 714

10.1.3. Plan de contingencia

En paralelo con mejorar el sistema de detección temprana, se propone un plan de contingencia (Anexo D, Figura 85) que explique de forma clara las labores de los operarios de prensa. El plan contempla las siguientes actividades:

Investigar la anomalía

Cuando los operarios leen el mensaje de alerta entregado por una prensa, deben inspeccionar el estado de los neumáticos en la bandeja trasera. Se pueden detectar 4 anomalías: neumáticos atrapados en compuerta, neumáticos sin descender por la bandeja, atrapamiento de neumáticos liberados o interrupción del movimiento de la correa central.

Reposicionar neumáticos en correa central

Si los operarios detectan que los neumáticos no avanzan o están atrapados en compuerta, deben reposicionarlos manualmente en la correa central. Estos hechos no debiesen continuar ocurriendo con las propuestas de mejora antes descritas. Por esta razón, el operario debe registrar la anomalía en bitácora de prensa (hoja dispuesta en las prensas) para que sean atendidas según lo especificado.

De igual forma, si la anomalía es un atrapamiento de neumáticos en la correa central, el operario debe retirarlos y reposicionarlos para que continúen su viaje. Luego de esto debe reactivar la descarga de las prensas.

Chequeo de posibles causas

Si la anomalía es la interrupción de la correa central, el operario debe revisar las siguientes 3 posibles causas:

1) Neumáticos superpuestos como muestra la Figura 71, en cuyo caso la interrupción se produjo por un sensor ubicado en el cabezal que detecta estas situaciones. El operario debe reposicionar los neumáticos y reanudar el movimiento de la correa central por medio del interruptor ubicado en el cabezal como muestra la Figura 72.



Figura 71. Neumáticos superpuestos.

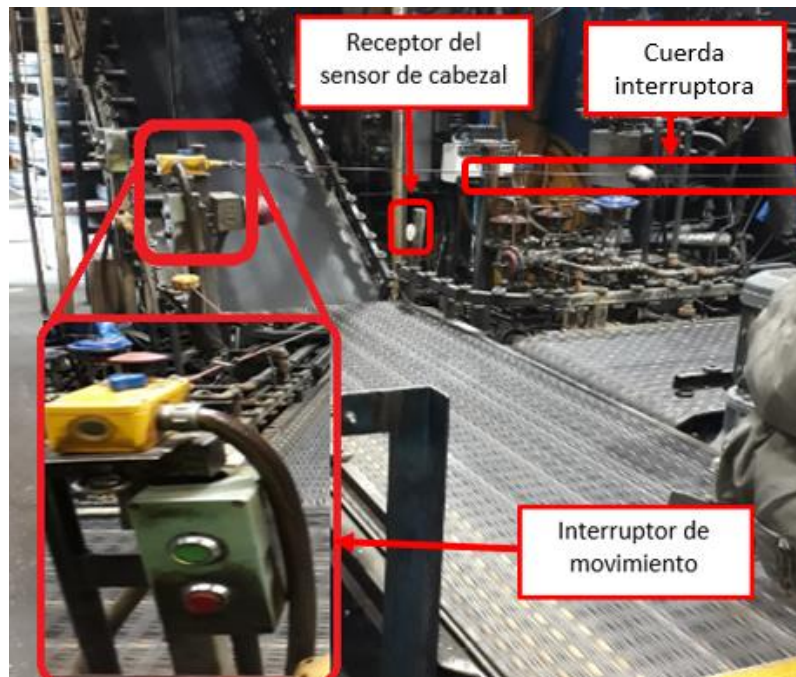


Figura 72. Interruptor de movimiento en cabezal de correa central.

2) En ocasiones se reinicia el tablero eléctrico que controla el movimiento de la correa. Para estos casos el operario debe reiniciar el movimiento desde el interruptor ubicado en el tablero. Los tableros se sitúan en los cabezales de línea.

3) La interrupción pudo ser activada por un mecánico o eléctrico en labor de mantención y/o corrección. El movimiento de la correa central puede ser inhabilitado al tensar una cuerda que viaja a lo largo de la correa como se muestra en la Figura 72. En estos casos el operario debe reanudar el movimiento de la correa desde el cabezal.

En cualquiera de los 3 casos, luego de haber corregido la interrupción, el operario debe esperar que se descongestionen las bandejas de prensa y finalmente reanudar las descargas.

Informar a mecánicos y eléctricos de turno

Si luego de revisar las posibles causas de interrupción, el operario no resolvió el problema, debe informar al supervisor de turno para que dé aviso a los mecánicos y eléctricos de turno.

Descongestionar manualmente la correa central

Mientras se identifica y atiende la falla que ocasionó la interrupción, el operario deberá dirigirse al cabezal de línea para acercar un carro de transporte (reservado para estas situaciones). El operario activará el movimiento de la correa para acercar los neumáticos, retirarlos y apilarlos en el carro. El objetivo de esto es reanudar la liberación de neumáticos y reactivar las descargas de prensas. Finalmente, en caso de que los neumáticos retirados superen las 10 unidades, el operario deberá informar al supervisor de turno para que un operario de grúa traslade los ejemplares a la “Válvula de alivio” en donde los reintegrará al circuito.

El jefe de turno será el responsable de capacitar a los operarios sobre el plan de contingencia además de incorporarlo en el proceso de entrenamiento que los operarios de prensa realizan cuando son contratados. Se aprovechará esta oportunidad para comunicar a los operarios que no se pueden desactivar manualmente las compuertas en bandeja ya que favorecen la generación de atrapamientos (aspecto discutido en Tabla 28). La Tabla 46 resume los costos de capacitar a los operarios con el plan de contingencia. Cabe destacar que los operarios de la planta cuentan con educación media completa.

Tabla 46. Costo de capacitar operarios con plan de contingencia.

Datos			
<ul style="list-style-type: none">• Salario jefe de turno: 700.000 (fuente: sitio web “Mi Futuro”, ingreso promedio técnico en procesos industriales) por trabajar 176 horas al mes.• Salario operario: 300.000 CLP (fuente: sitio web “Un mejor empleo”, oferta de trabajo operario de producción para Goodyear Chile) por trabajar 176 horas al mes.• Turnos a intervenir: 4 (turnos rotativos 6x2).• Jefes por turno: 1• Operarios por turno: 12• Horas requeridas para capacitación: 30 min (fuente: entrevista con supervisores de planta) en comité abierto al inicio de turno.• Valor del dólar: 649 CLP (fuente: sitio web del Banco Central, valor promedio del 2017).			
Ítem	Costo unitario	Cantidad	Total
Horas-Persona	[por hora]		
Jefe de turno	US\$ 6,13	2 hrs	US\$ 12
Operario	US\$ 2,63	24 hrs	US\$ 63
TOTAL			US\$ 75

10.1.4. Extender las zonas y sistemas de enfriamiento

Como fue descrito en el capítulo 8, los sistemas de detención de las líneas 600, 500 y 400B contribuyen en gran medida al enfriamiento de los neumáticos reduciendo su temperatura de 156°C hasta 84°C. Replicar estos sistemas de detención en el resto de líneas significaría el recambio de bandejas y brazos extractores, y la coordinación con el sistema de curado y descarga de neumáticos. Además de esto, en la planta operan 7 modelos distintos de prensa que hacen variar sus dimensiones (alto y ancho) y por lo tanto requieren bandejas y brazos extractores a la medida. Por estos motivos, esta alternativa resulta desmedida en costos.

De forma similar, la zona de Cooling contribuye al enfriamiento de neumáticos, pero resulta infactible su instalación en secciones anteriores de conveyor debido a la presencia de un muro como se muestra en la Figura 73, y a la superposición de conveyors que reduce aún más el espacio. Además, la temperatura general del sector de vulcanización es alta por la operación de las 119 prensas (238 cavidades), lo que exigiría mayores elementos aislantes para conservar la temperatura del Cooling. En conclusión, resulta más conveniente reducir los niveles de scrap controlando las variables de fuerza y tiempo.

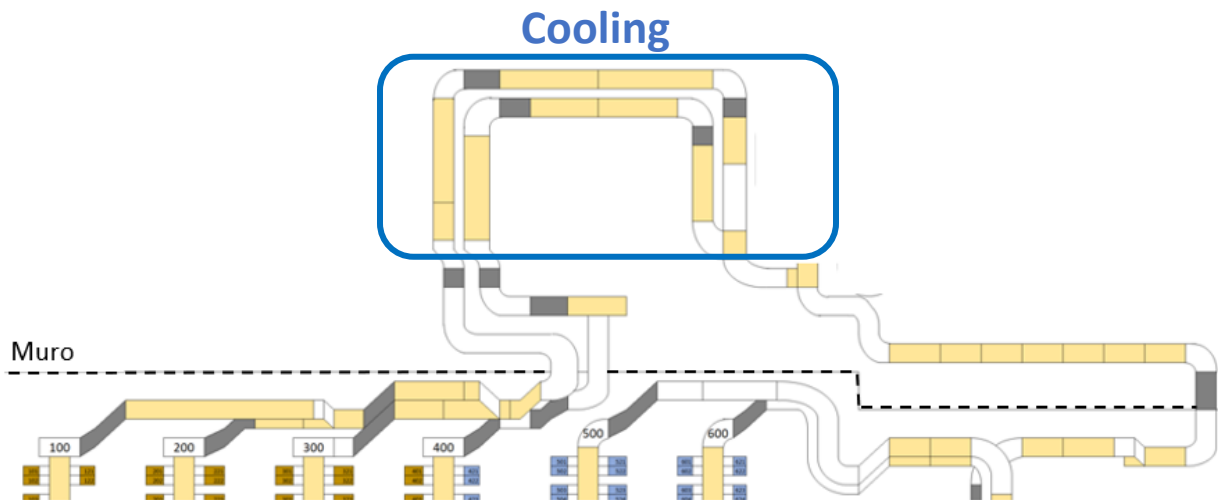


Figura 73. Muro divisorio de conveyors

10.2. Evaluación económica

A continuación se computan los costos, ahorros, tasa de descuento y VAN del proyecto de mejora descrito.

10.2.1. Costos del proyecto

La Tabla 47 resume los costos que involucra la implementación de las propuestas sugeridas. A fin de facilitar las labores planteadas para los operarios en el plan de contingencia (“Descongestionar manualmente la correa central”), se descarta la propuesta de mejorar el diseño de compuertas dado que continua permitiendo que los neumáticos queden atrapados en ellas y por lo tanto, que estorben el paso de los que transitan por correa central.

Tabla 47. Resumen de costos fijos y variables de las propuestas de mejora

Propuesta	Costo
Coordinación de descarga y detención de neumáticos	US\$ 2.437
Mejora en el diseño de compuertas	US\$ 1.963
Reducir inclinación de bandejas	US\$ 642
Arquear brazos extractores	US\$ 238
Mejorar acceso de lubricación de centradoras	US\$ 59
Corregir estado de bandejas 301, 302 y 321	US\$ 90
Corregir sistema de detención de bandejas 428, 430 y 440	US\$ 65
Reubicación de sensores	US\$ 2.024
Programación de mensaje en tablero	US\$ 714
Capacitación de operarios	US\$ 75
TOTAL Costos Fijos	US\$ 6.344
Aumento capacidad de inspección post-vulcanización	US\$ 1.849
TOTAL Costos Variables	US\$ 1.849

Al respecto se requiere una inversión inicial de US\$6.269 y un costo mensual de US\$1.849 asociado al sueldo de los 4 inspectores necesarios para cubrir los turnos rotativos.

10.2.2. Ahorros

Como fue descrito, las líneas 500 y 600 poseen los mejores indicadores de scrap normalizado atribuibles a:

- Sistema coordinado de descarga, detención y liberación de neumáticos, lo que favorece el enfriamiento por reposo
- Transporte aislado y reposado independiente de interrupciones por fallas en el resto de conveyors
- Diseño de bandejas y compuertas que no genera atrapamientos en correa central

Con las correcciones propuestas para el resto de líneas (100, 200, 300 y 400) se evita la generación de atrapamientos en correa central, mientras que con el sistema de detección temprana y plan de contingencia, se reduce el impacto y duración de las interrupciones en conveyor ocasionadas por fallos mecánicos y/o eléctricos. En consecuencia, el proyecto de mejora busca equiparar el rendimiento de las líneas más antiguas con el de las más modernas.

La Tabla 48 detalla los niveles mensuales de scrap y producción en las líneas de vulcanización durante el año 2017. Las líneas 600 y 500 registran un indicador promedio de scrap normalizado de 0,024%, es decir, generan 24 neumáticos scrap por cada 100.000 vulcanizados. En cambio, el resto de líneas posee un indicador promedio de 0,088%. En base a esta diferencia se establecen 3 escenarios para la generación de ahorros del proyecto

Tabla 48. Indicador scrap mensual del año 2017.

Línea	Scrap	Producción	Indicador	
100	74	80435	0,094%	0,088%
200	76	82024	0,092%	
300	62	83238	0,075%	
400	68	76500	0,090%	
500	14	89964	0,016%	0,024%
600	28	89260	0,032%	
Total	322			

Observación: Los valores son el promedio mensual del año 2017.

Escenario Optimista

Corresponde al caso en que las propuestas de mejora logren reducir el indicador scrap de las líneas 100, 200, 300 y 400 a un 0,030%. Esto se traduce en una reducción de 184 neumáticos scrap mensuales generando un ahorro de US\$ 8.435.

Tabla 49. Ahorros bajo escenario optimista de scrap (0,03%).

Línea	Scrap actual	Meta	Reducción	Ahorro
100	74	24	50	\$ 2.277
200	76	25	51	\$ 2.362
300	62	25	37	\$ 1.713
400	68	23	45	\$ 2.082
TOTAL	280	97	184	\$ 8.435

Escenario Neutro

El indicador scrap meta es de 0,050% lo que genera una reducción scrap de 119 neumáticos y un ahorro de US\$ 5.473 mensual.

Tabla 50. Ahorros bajo escenario neutro de scrap (0,05%).

Línea	Scrap actual	Meta	Reducción	Ahorro
100	74	40	33	\$ 1.537
200	76	41	35	\$ 1.608
300	62	42	21	\$ 948
400	68	38	30	\$ 1.379
TOTAL	280	161	119	\$ 5.473

Escenario Pesimista

El indicador scrap meta es de 0,07% lo que genera una reducción scrap de 55 neumáticos al mes y un ahorro de US\$ 2.511 mensual.

Tabla 51. Ahorros bajo escenario pesimista de scrap (0,07%).

Línea	Scrap actual	Meta	Reducción	Ahorro
100	74	56	17	\$ 798
200	76	57	19	\$ 854
300	62	58	4	\$ 183
400	68	54	15	\$ 676
TOTAL	280	226	55	\$ 2.511

Además del ahorro scrap generado, el proyecto de mejora evita la ocurrencia de atrapamientos y agiliza la atención de fallas en conveyor, permitiendo así recuperar tiempo operacional de prensas y operarios. Las siguientes condiciones impiden estimar el valor de estas mejoras:

- No existe registro en SAP de las fallas que generaron interrupciones en conveyor ni mucho menos del tiempo que tardaron en ser resueltas
- Las prensas detenidas por fallas desconocidas (como la saturación de bandeja), atribuyen el tiempo de inactividad (downtime) a ausencia de operario

10.2.3. Tasa de descuento

El año 2016 se desarrollaron 2 proyectos de mejora en Goodyear Chile que guardan semejanza con el trabajo presente. El primero de ellos fue un trabajo de memoria (Roa, 2016) que mediante la metodología DMAIC propuso mejoras al proceso de requerimiento de materiales. El segundo proyecto fue realizado por ingenieros de Goodyear Chile y consistió en la mejora de compuertas ya mencionadas y resumida en la Figura 74.

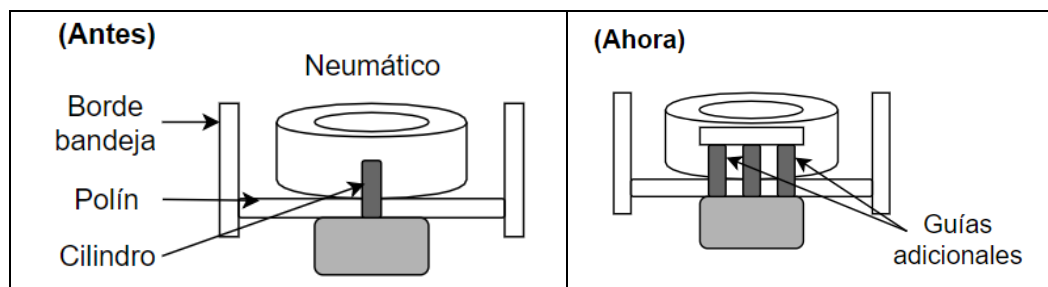


Figura 74. Proyecto Goodyear de mejora de compuertas.

Las Tablas 52 y 53 resumen el desempeño económico de los proyectos mencionados. Al respecto se tomará como referencia la tasa de descuento utilizada en Roa (2016) para evaluar el proyecto presente y comparar las métricas.

Tabla 52. Desempeño económico en proyecto similar (Roa, 2016).

Roa, 2016	
Egresos primer año	US\$18.361
Ahorros primer año (escenario neutro)	US\$89.676
Tasa de descuento mensual	2 %
VAN al primer año	US\$14.453
TIR mensual	18%
Payback	7 meses

Tabla 53. Desempeño económico de proyecto Goodyear 2016.

Proyecto interno de Goodyear, 2016	
Inversión inicial	US\$6.026
Ahorros mensuales	US\$1.305
Tasa de descuento según Roa (2016)	2 %
VAN al primer año	US\$7.775
TIR mensual	19%
Payback	5 meses

10.2.4. VAN del proyecto

Utilizando el modelo de valoración económica VAN, se evalúa a continuación el desempeño del proyecto de mejora propuesto en los escenarios optimista, neutro y pesimista de ahorro. Al igual que en los proyectos citados, se utilizará un horizonte de 12 meses para evaluar los flujos del proyecto, siendo este un plazo acorde con la naturaleza táctica-operativa del proyecto y suficiente para observar payback.

VAN bajo escenario optimista

En el mejor de los casos, las propuestas de mejora equiparan el desempeño scrap de las 6 líneas. En este escenario el proyecto resulta indudablemente rentable con un VAN anual de US\$ 63.305, un payback de 1 mes y una TIR de 103%. Estos valores sirven de referencia para justificar los esfuerzos por equiparar el desempeño de las líneas y continuar realizando proyectos de mejora que complementen el trabajo presente.

Tabla 54. Flujo de caja del proyecto bajo escenario optimista.

Items	Mes	2017											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos	\$ -	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435
Ahorro	\$ -	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435	\$ 8.435
Costos	\$ 6.344	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849
Fijo (inversión)	\$ 6.344	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Variable	\$ -	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849	\$ 1.849
Flujo	\$ -6.344	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586	\$ 6.586
Flujo acumulado	\$ -6.344	\$ 242	\$ 6.828	\$ 13.414	\$ 20.000	\$ 26.586	\$ 33.172	\$ 39.758	\$ 46.344	\$ 52.930	\$ 59.516	\$ 66.102	\$ 72.688

VAN bajo escenario neutro

Bajo el escenario neutro (esperable) de ahorros, el proyecto alcanza un VAN de US\$31.981 al año con un payback de 2 meses y una TIR de 57%. En consecuencia, el proyecto resulta conveniente de realizar bajo estimaciones sensatas.

Tabla 55. Flujo de caja del proyecto bajo escenario neutro.

Items	Mes	2017												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos	\$	-	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473
Ahorro	\$	-	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473	\$ 5.473
Costos	\$	6.344	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849
Fijo (inversión)	\$	6.344	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variable	\$	-	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849
Flujo	\$	-6.344	3.624	3.624	3.624	3.624	3.624	3.624	3.624	3.624	3.624	3.624	3.624	3.624
Flujo acumulado	\$	-6.344	-2.720	904	4.528	8.152	11.776	15.400	19.024	22.648	26.272	29.896	33.520	37.144

VAN bajo escenario pesimista

La Tabla 56 detalla los flujos de retorno obtenidos bajo el escenario pesimista de ahorro. El VAN obtenido para el primer año de implementación es de US\$ 657 con un payback de 11 meses y una TIR de 3,6%. Esto indica que el proyecto resulta rentable aún en el peor de los casos comparado al desempeño de los proyectos citados.

Tabla 56. Flujo de caja del proyecto bajo escenario pesimista.

Items	Mes	2017												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos	\$	-	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511
Ahorro	\$	-	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511	\$ 2.511
Costos	\$	6.344	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849
Fijo (inversión)	\$	6.344	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variable	\$	-	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849	1.849
Flujo	\$	-6.344	662	662	662	662	662	662	662	662	662	662	662	662
Flujo acumulado	\$	-6.344	-5.682	-5.020	-4.358	-3.696	-3.034	-2.372	-1.710	-1.048	-386	276	938	1.600

11. Plan de ejecución y seguimiento

En este capítulo se planifica la ejecución de las propuestas de mejora y se plantean actividades para monitorear el desempeño del proyecto.

11.1. Programación de mejoras

Para establecer un orden de ejecución de las mejoras propuestas, se priorizarán aquellas que más contribuyan a la reducción de scrap (impacto), y que menos entorpezcan las operaciones en zona vulcanización (complejidad). En las Tablas 57 y 58 se valoran las propuestas de mejora en cuanto a impacto y complejidad, y en la matriz de evaluación de la Tabla 59 se identifican aquellas con mayor prioridad.

Tabla 57. Impacto de las propuestas de mejora.

Medida	Intervenciones	Impacto	Explicación
Coordinación de descarga y detención de neumáticos	116 bandejas	Alto	Evita atrapamientos en 116 compuertas.
Reducir inclinación de bandejas	8 bandejas	Bajo	Aborda una sub-causa de atrapamiento para 8 bandejas.
Arquear brazos extractores	8 bandejas	Bajo	Aborda una sub-causa de atrapamiento para 8 bandejas.
Mejorar acceso de lubricación de centradoras	3 centradoras	Media	Aborda un potencial foco de deformación por el cual transita gran flujo de neumáticos.
Corregir estado de bandejas 301, 302 y 321	3 bandejas	Bajo	Aborda una sub-causa de atrapamiento para 3 bandejas.
Corregir sistema de detención de bandejas 428, 430 y 440	3 bandejas	Bajo	Aborda una sub-causa de atrapamiento para 3 bandejas.
Reubicación de sensores	136 bandejas	Alto	Agilizan la detección de atrapamientos e interrupciones disminuyendo la probabilidad de daño.
Programación de mensaje en tablero	68 prensas	Alto	
Capacitación de operarios	4 turnos	Alto	
Aumento de capacidad en inspección post-vulcanización	0	Alto	Reduce la cantidad de interrupciones en conveyor.

Tabla 58. Complejidad de las propuestas de mejora.

Medida	Intervenciones	Complejidad	Explicación
Coordinación de descarga y detención de neumáticos	116 bandejas	Alta	Gran número de bandejas
Reducir inclinación de bandejas	8 bandejas	Baja	Similar a actividades de mantención.
Arquear brazos extractores	8 bandejas	Baja	Similar a actividades de mantención.
Mejorar acceso de lubricación de centradoras	3 centradoras	Baja	Similar a actividades de mantención.
Corregir estado de bandejas 301, 302 y 321	3 bandejas	Baja	Similar a actividades de mantención.
Corregir detención de bandejas 428, 430 y 440	3 bandejas	Baja	Similar a actividades de mantención.
Reubicación de sensores	136 bandejas	Alta	Gran número de bandejas y tiempo involucrado
Programación de mensaje en tablero	68 prensas	Media	Repetitivo con 1 sólo trabajador.
Capacitación de operarios	4 turnos	Baja	Similar a charlas de inicio de turno.
Aumento de capacidad en inspección post-vulcanización	0	Baja	Requiere realizar proceso de contratación y capacitación.

Tabla 59. Prioridad de las propuestas de mejora.

Medida	Impacto (Bajo=2; Medio=4; Alto=6)	Complejidad (Bajo=6; Medio=4; Alto=2)	Puntaje
Coordinación de descarga y detención de neumáticos	6	2	8
Reducir inclinación de bandejas	2	6	8
Arquear brazos extractores	2	6	8
Mejorar acceso de lubricación de centradoras	4	6	10
Corregir estado de bandejas 301, 302 y 321	2	6	8
Corregir sistema de detención de bandejas 428, 430 y 440	2	6	8
Reubicación de sensores	6	2	8
Mensaje en tablero	6	4	10
Capacitación de operarios	6	6	12
Aumento de capacidad en inspección post-vulcanización	6	6	12

En base a los puntajes obtenidos y la relación entre propuestas, se sugiere el siguiente orden de implementación:

1. Contratar inspector adicional para zona post-vulcanización
2. Mejorar acceso de lubricación en centradoras
3. Capacitar operarios sobre lo que será el sistema de detección y acciones de contingencia
4. Programar mensaje en tablero de prensas
5. Reubicar sensores de bandeja
6. Coordinación de descarga y detención de neumáticos
7. Reducir inclinación de bandejas
8. Arquear brazos extractores
9. Corregir estado de bandejas 301, 302 y 321
10. Corregir sistema de detención de bandejas 428, 430 y 440

Finalmente, el sistema cerrado (conveyor único) de la línea 400 facilita conocer el impacto de las mejoras implementadas en dicha zona, no así el resto de líneas (100, 200 y 300) cuya correlación es mayor (conveyor combinados). Por esta razón, se propone la línea 400 como piloto del proyecto a fin de verificar la efectividad de las propuestas y recoger aprendizajes. La Figura 75 resume la secuencia final para implementar las mejoras propuestas.

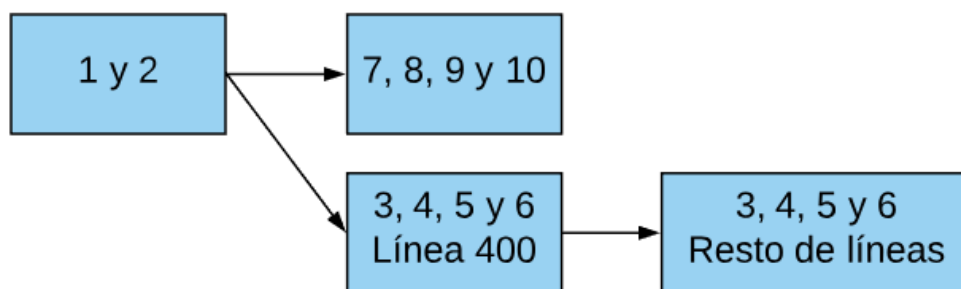


Figura 75. Secuencia de actividades.

11.2. Seguimiento

Para monitorear el desempeño de los cambios propuestos, a parte de comparar el nivel de scrap generado (normalizado por el nivel producido), se proponen las siguientes 2 actividades a fin de extraer mayor información:

a) Monitoreo del downtime de prensas

Con la actualización de la información disponible y entregada en tableros de prensa, se podrá llevar un registro claro del tiempo de inactividad de las prensas a causa de atrapamientos y/o interrupciones. Conocer el downtime de prensas permite atribuir mayores costos monetarios al problema 'Daño en Transportadora' y de esta forma justificar futuras intervenciones (o bien las que aún no se han implementado).

b) Actualización de software SAP

Se sugiere añadir nuevos campos al software SAP que permitan llevar registro del número de fallas mecánicas y/o eléctricas ocurridas en conveyor, y el tiempo requerido para solucionarlas. Esto permitirá: monetarizar el tiempo de producción perdido por fallas, estimar el scrap asociado a interrupciones (usando trazabilidad horaria), justificar monetariamente la realización de mantenimiento preventivo e incluso obtener estadísticas para realizar mantención predictiva.

12. Conclusiones

La falla “Daño en Transportadora” es una de las más críticas actualmente en generación de scrap y sin embargo sólo representa un 3,5% del scrap vulcanizado y apenas un 1,5% del scrap total. Pese a esto se consiguió proponer un proyecto con VAN anual de US\$32.000, similar en rentabilidad al de otros trabajos realizados en la planta basados en gestión de calidad.

Del levantamiento de información y análisis de causas se concluyó que el scrap asociado a la falla escogida se genera debido a las altas temperaturas de los neumáticos y la interacción con fuerzas deformadoras durante periodos superiores a 14 minutos. En respuesta a esto se plantearon 9 propuestas de mejora que en un escenario neutro, generan ahorros de US\$ 5.470 mensuales bajo una inversión inicial de US\$ 6.340.

Si bien se disponía de sistemas de registro scrap, trazabilidad y resumen de producción; se hizo imposible la toma de muestras cuantiosas en terreno dadas las condiciones del proceso productivo. Esto ejemplifica la dificultad práctica de implementar metodologías como Six-Sigma que sugieren análisis estadístico intenso limitando su uso a casos muy acotados como en Breach et al. (2016) donde el trabajo se enfocó a una sola máquina; o en Ocampo y Pavón (2012) donde se integra teóricamente la etapa de simulación (DMAIC-SIM). En cambio, se aprovechó la guía estructurada de trabajo que sugieren las metodologías revisadas y se complementaron con herramientas de análisis alternativas.

La experiencia en la planta además permitió conocer otro tipo de problemáticas comunes de las empresas manufactureras como son: la priorización de los procesos productivos por sobre los procesos de calidad; y la falta de comunicación entre áreas productivas que impide compartir soluciones a problemas comunes.

13. Bibliografía

- [1] The Goodyear Tire & Rubber Company (2016), "Annual Reports". Extraído el 12/09/2017 desde <https://corporate.goodyear.com/en-US/investors/financial-reports/annual-reports.html>.
- [2] Tyres & Accessories. (2017). Leading tyre manufacturers. Revisado el 12/09/2017, desde <http://www.tyrepress.com/leading-tyre-manufacturers/>.
- [3] Kline, John M. (1992). Foreign Investment Strategies in Restructuring Economies: Learning from corporate experiences in Chile. Londres: Quorum Books.
- [4] Muñoz R. (1977). Pacto Andino y Libre Comercio. ESTUDIOS INTERNACIONALES, Año 10 (No. 38), 3-12.
- [5] Álamos, J. (2011, 18 de ene.). ARTÍCULO GENERAL INSA 1968. Recuperado de: <http://autoschilenos.blogspot.cl/2011/01/articulo-general-insa-1968.html>.
- [6] Tapia M. & Cominetti M. (2008, 19 de Abr.). Goodyear planea invertir US\$420 millones para duplicar su producción en Chile. Recuperado de: <http://www.latercera.com/noticia/goodyear-planea-invertir-us-420-millones-para-duplicar-su-produccion-en-chile/>.
- [7] Roa, I. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC al proceso de requerimiento de materiales. Caso aplicado empresa Goodyear Chile (Tesis pregrado). Disponible en Repositorio Digital USM. (URI: <http://hdl.handle.net/11673/22112>).
- [8] C y V Medioambiente Ltda., (2008). INFORME FINAL: Diagnóstico, fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de neumáticos fuera de uso. Santiago: Chile. Gobierno de Chile.
- [9] Stevenson C. (2012). Estudio de los fenómenos de transferencia de energía en una prensa de vulcanización (Tesis de grado Ing. Química). Disponible en Repositorio Académico de la Universidad de Chile (URL: <http://repositorio.uchile.cl/>).
- [10] Chase R., Jacobs R. & Aquilano N. (2009). AMINISTRACIÓN DE OPERACIONES. México: McGraw Hill.
- [11] Camisón C., Cruz S. & Gonzáles T. (2006). Gestión de la Calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas. Madrid: Pearson Educación.
- [12] Wilson L. (2010). How to Implement Lean Manufacturing. New York: McGraw-Hill.
- [13] Sortillón G. (1994). Valor agregado en la manufactura (pp.3-15) [Tesis Licenciatura]. Disponible en Biblioteca Digital Universidad de Sonora (URL: <http://www.bidi.uson.mx/tesis.aspx>).
- [14] Andrade L. (2006). Análisis de variaciones de uso de material y cálculo de scrap estándar en los procesos de ensamblaje y empaque en una planta de productos de afeitado usando la filosofía de manufactura esbelta (Tesis de grado Ing. Industrial). Disponible en Biblioteca digital Universidad Católica Andrés Bello (URL: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/>).

- [15] Breach, R., Salas, M. & Gonzales, L. (2016). Reducción de scrap en el área de cigüeñal diésel en planta Ford, aplicando la metodología Six Sigma. *Revista Ingeniantes Año 3, No. 1 Vol. 1*.
- [16] Romero I. (1994). Evaluación de filosofías y técnicas para el mejoramiento de la productividad y calidad (Tesis de grado Ing. Industrial). Disponible en Base de Datos Universidad de Sonora (URL: <http://www.bidi.uson.mx/tesis.aspx>).
- [17] Hessman T. (2016, 10 oct.). Goodyear's Plan to Integrate Manufacturing and Safety. *New Equipment Digest*. Recuperado de: <http://www.newequipment.com/plant-operations/goodyears-plan-integrate-manufacturing-and-safety>.
- [18] Suzuki T. (1992). TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP-Hoshin.
- [19] Mansilla N. (2011). APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN LA GOMA DE MASCAR EN UNA INDUSTRIA NACIONAL (Tesis de grado Ing. en Alimentos). Disponible en Repositorio Académico de la Universidad de Chile (URL: <http://repositorio.uchile.cl/>).
- [20] Delgado E. (2015). PROPUESTA DE UN PLAN PARA LA REDUCCIÓN DE LA MERMA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN UNA PLANTA DE PRODUCTOS QUÍMICOS PLÁSTICOS. Disponible en Repositorio Digital de Tesis PUCP (URL: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6810>).
- [21] McCarty T., Daniels L., Bremer M., Heisey J. & Gupta P. (2005). *The Six Sigma Black Belt Handbook*. McGraw-Hill.
- [22] Ocampo J. & Pavón A. (2012, julio). Integrando la metodología DMAIC de Six Sigma con la Simulación de Eventos Discretos Flexsim. Artículo presentado en la X Conferencia Latinoamericana y del Caribe sobre Ingeniería y Tecnología (LACCEI). Ciudad de Panamá, Panamá.
- [23] Climent, S. (2003). *Los Costes De Calidad Como Estrategia Empresarial: Evidencia Empírica en la Comunidad Valenciana* (Tesis Doctoral). Universidad de Valencia, España. (ISBN: 84-370-5767-1)
- [24] Ohno T. (1991). *EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE TOYOTA: Más allá de la producción a gran escala*. Barcelona: Ediciones Gestión 2000.
- [25] Muthu S., Whitman L., Cheraghi H. (1999, noviembre). Business process reengineering: A consolidated methodology. En: 4th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice. San Antonio, Texas, Estados Unidos.
- [26] Malahotra Y. (1998). Paper: Business Process Redesign: An Overview. *IEEE Engineering Management Review*, 26(3). Recuperado de: <http://www.brint.com/papers/bpr.htm>.
- [27] Davenport T. (1993). *Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology*. Boston: Harvard Business School Press.
- [28] Kettinger W., Teng J. & Guha S. (1997). Business Process Change: A Study of Methodologies, Techniques, and Tools. *Mis Quarterly*, 21(1), 55-80.

- [29] Peña W. & Mendoza G. (2009, junio). Plan de reducción de desperdicios de materia prima para mejorar la productividad de una empresa fabricante de revestimientos. Artículo presentado en la VII Conferencia Latinoamericana y del Caribe sobre Ingeniería y Tecnología (LACCEI). San Cristóbal, Venezuela.
- [30] Borbón L. (2010). Uso de Herramientas básicas de calidad y manufactura esbelta como alternativa para la reducción de desperdicios en una línea de proceso en la industria automotriz (Tesis de grado Ing. Industrial). Disponible en Biblioteca digital Universidad Católica Andrés Bello (URL: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/>).
- [31] Both T. (2009). The Bootcamp Bootleg [Web log Post]. Recuperado de: <https://dschool.stanford.edu/resources/the-bootcamp-bootleg>.
- [32] Army Materials and Mechanics Research Center (1972). A Temperature Study of Pneumatic Tires During Highway Operation. Michigan, US: National Technical Information Service.
- [33] Rice, J (2007). *Mathematical Statistics and Data Analysis*. California:Thomson Brooks/Cole.
- [34] Geras, D., Pepper, C. & Rodgers, S. (1989, Junio). *An Integrated Egonomics Program At The Goodyear Tire & Rubber Company*. Artículo presentado en la Conferencia Internacional Anual de Seguridad y Ergonomía Industrial. Ohio, Estados Unidos.
- [35] Dávila, A. (1999). *Cultura en Organizaciones Latinas*. Coyoacán: Siglo veintiuno editores.

14. Anexos

14.1. Anexo A: Antecedentes de Goodyear Global

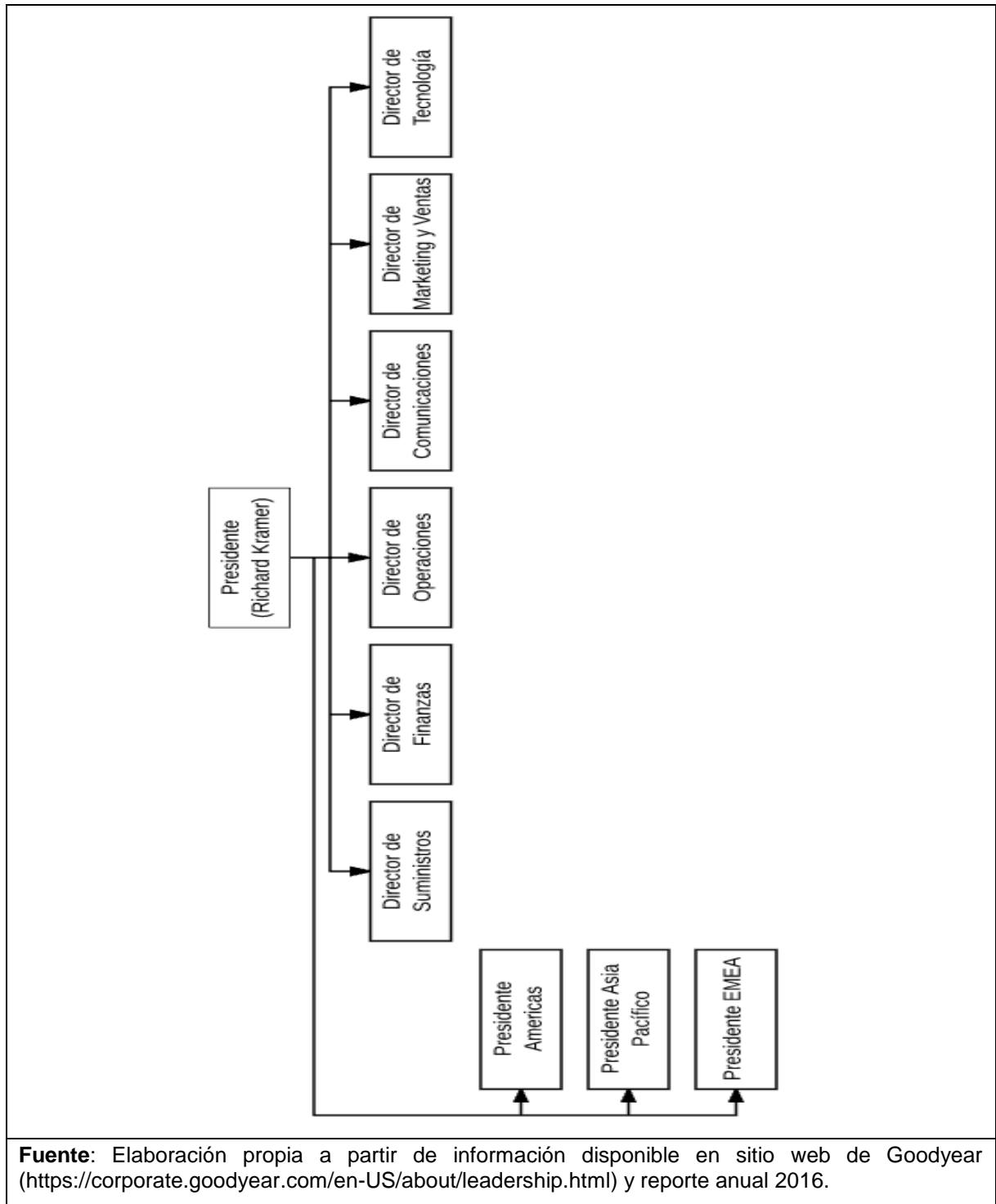
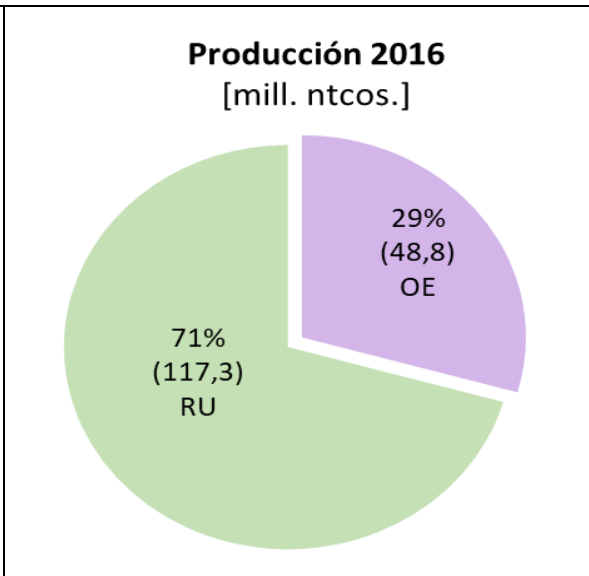
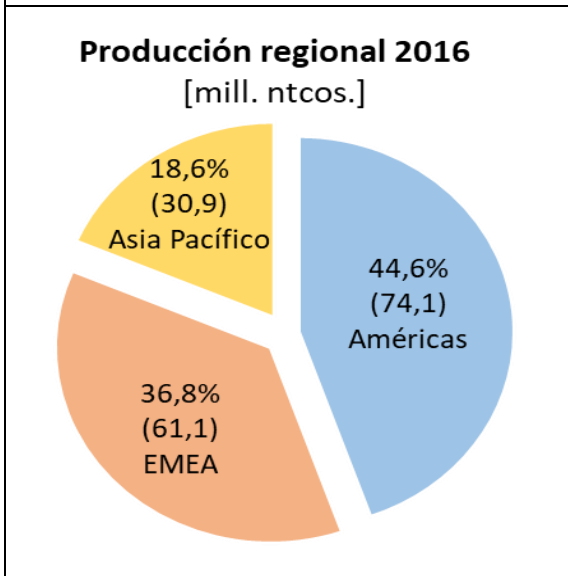
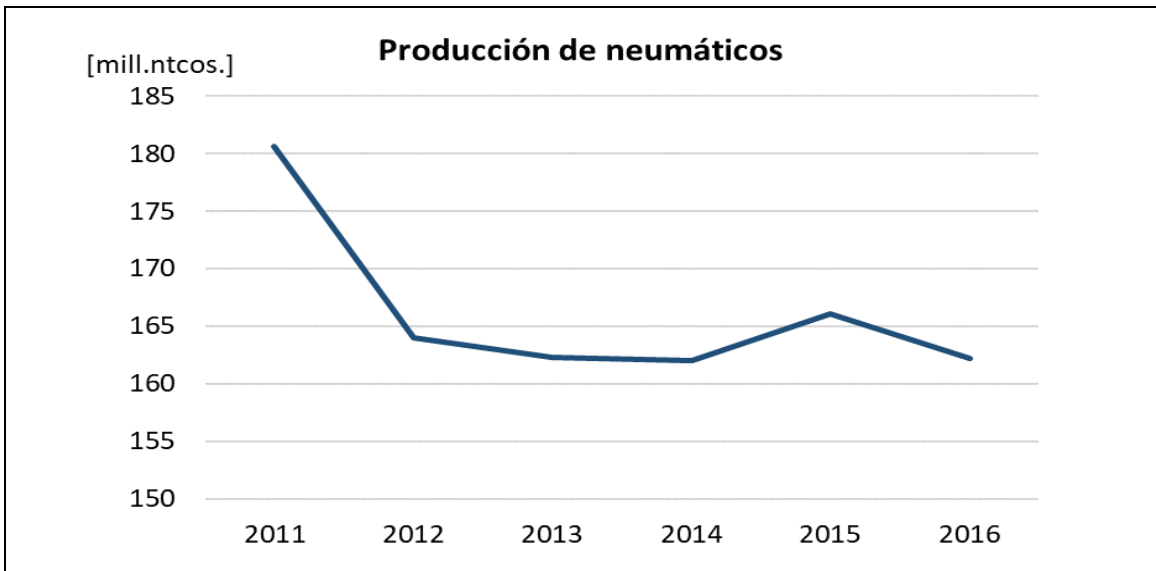


Figura 76. Organigrama global de Goodyear Global.



Fuente: Elaboración propia a partir de los reportes anuales de Goodyear.
Observación: El declive de producción en el año 2012 se debe principalmente a un aumento en los costos de materias primas (ver reporte anual 2012 o 2013).

Figura 77. Producción de neumáticos de Goodyear Global.

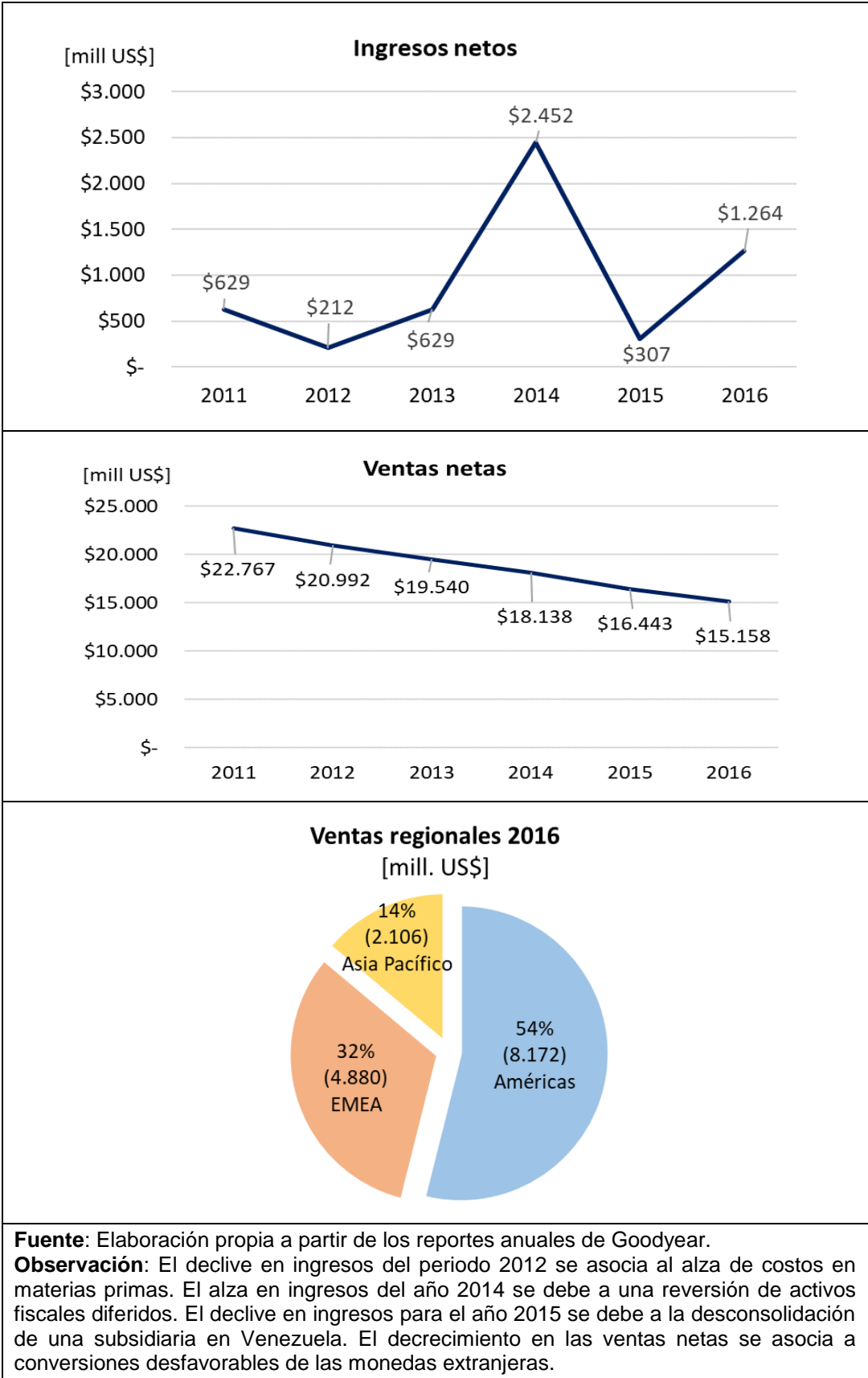
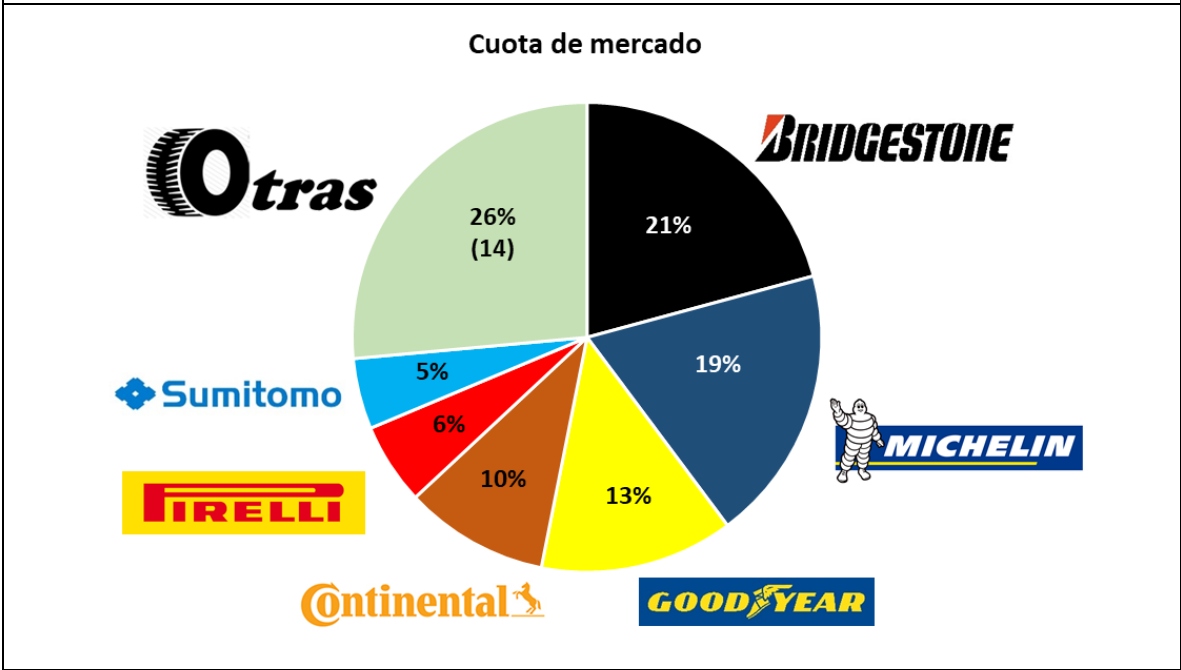
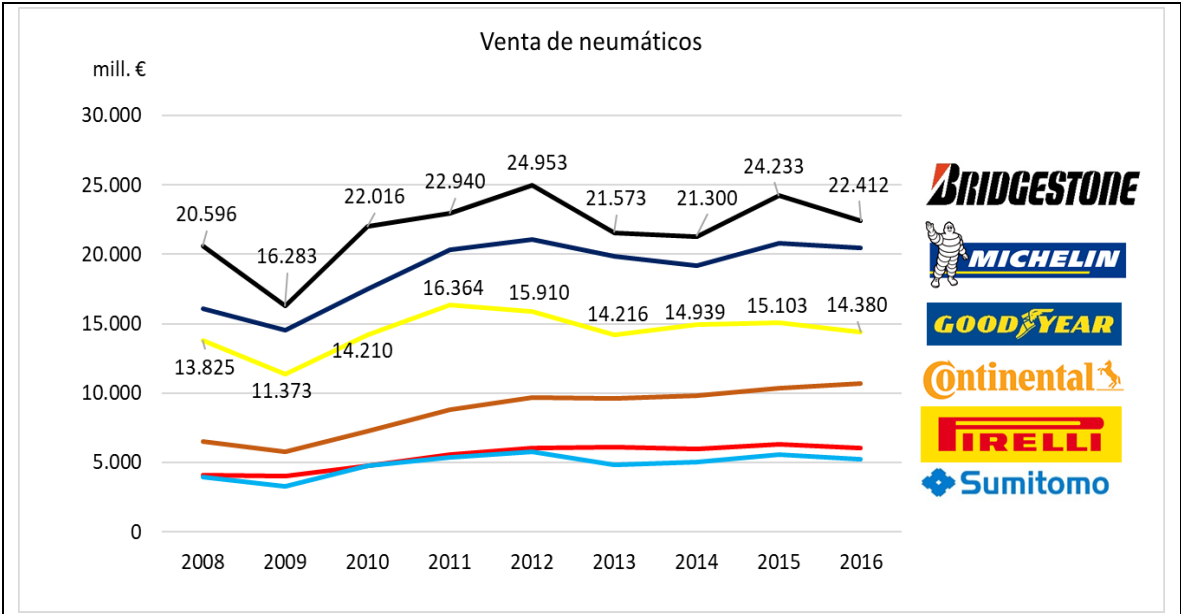


Figura 78. Ventas e ingresos netos de Goodyear Global.



Fuente: Elaboración propia con datos de Tyres & Accessories [3].

Figura 79. Escenario competitivo de la industria de manufactura de neumáticos.

14.2. Anexo B: Antecedentes de Goodyear Chile

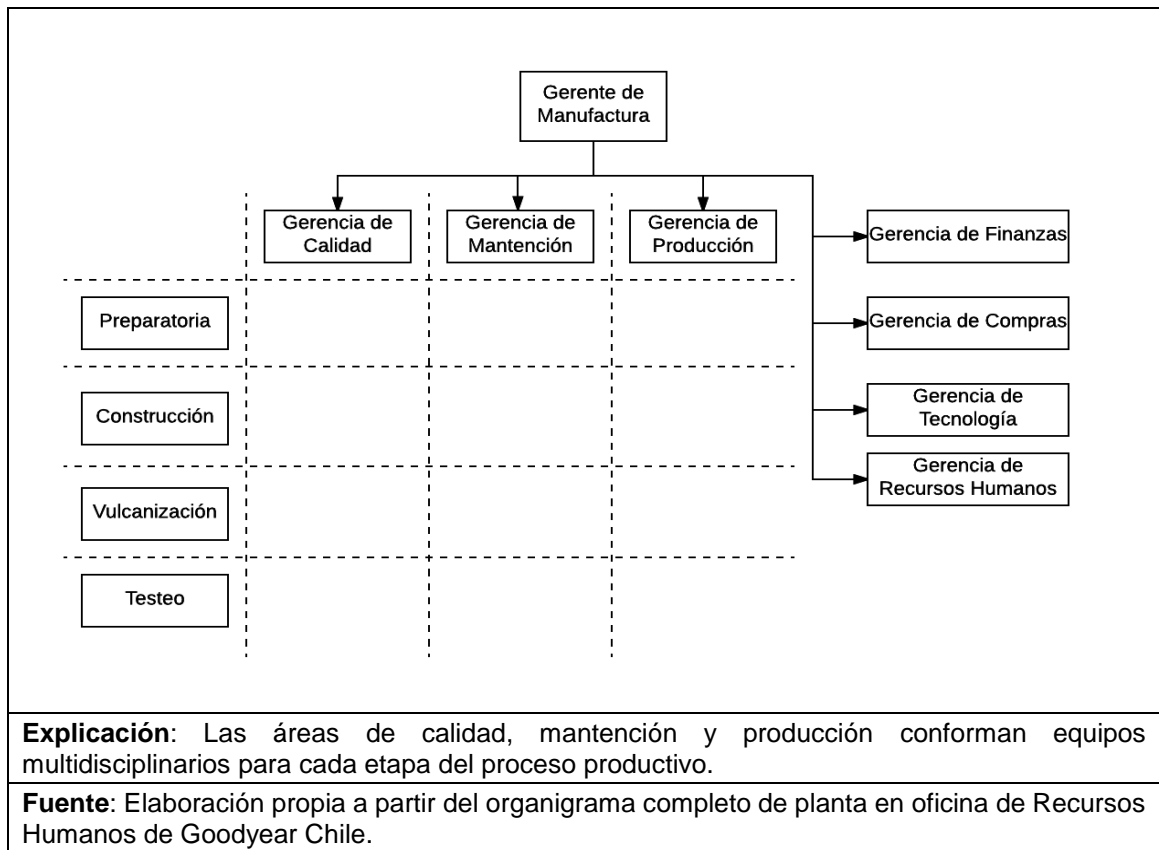


Figura 80. Organigrama de Goodyear Chile (estructura matricial).

Tabla 60. Misión y Visión de Goodyear.

Misión
<i>“Proveer una cartera superior de productos y servicios en el mercado de neumáticos, excediendo las expectativas dinámicas de los consumidores”</i>
Visión
<i>“Ser la elección preferencial de los clientes en el negocio de neumáticos”</i>
Fuente: Disponible en sitio corporativo de Goodyear (https://corporate.goodyear.com/en-US/about/mission.html) y en la web de cada país.

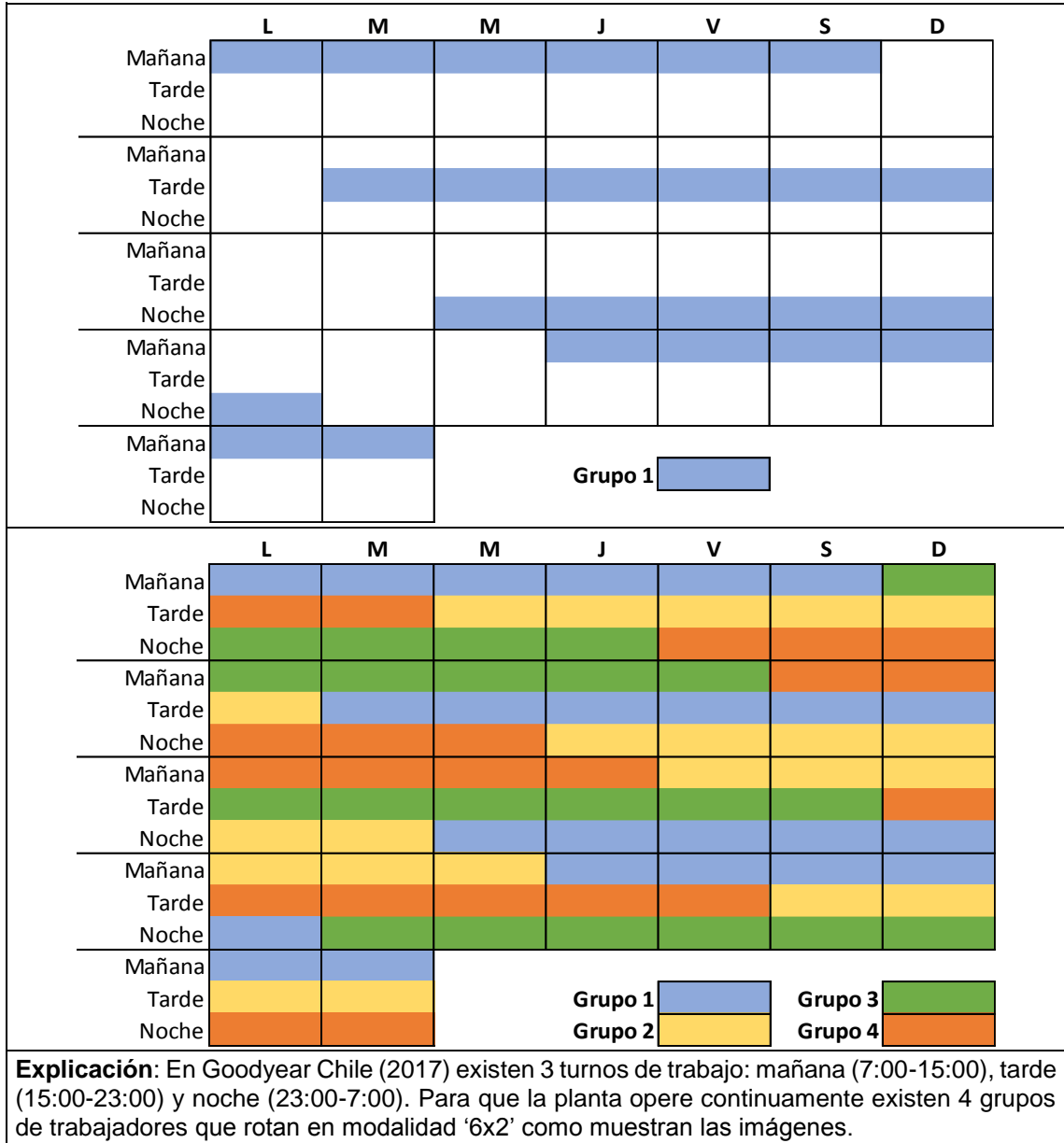


Figura 81. Turnos rotativos de trabajo.

14.3. Anexo C: Problemática

Tabla 61. Enfoques de mejora en Goodyear Chile.

Año	Enfoque	Descripción
1986	Estrategia de Perfección (Geras et al., 1989)	Concepto desarrollado por Stanley Joseph Mihelick, JR, vicepresidente ejecutivo de operaciones en Goodyear Global (1982-1988). Plantea 19 puntos críticos asociados a la gestión de manufactura, cuya meta común es alcanzar el “lugar ideal de trabajo”.
1989	Cultura de Calidad Total (Dávila, 1999)	Por medio de este enfoque se establecen especificaciones de desempeño (basadas en la satisfacción cliente) en todos los procesos de la empresa y se planifican actividades para asegurar su cumplimiento (Camisón et al., 2006).
2015	Optimización de Planta	Enfoque propuesto a partir del modelo japonés Lean Manufacturing, que busca reducir la generación de desperdicios (Wilson, 2010).

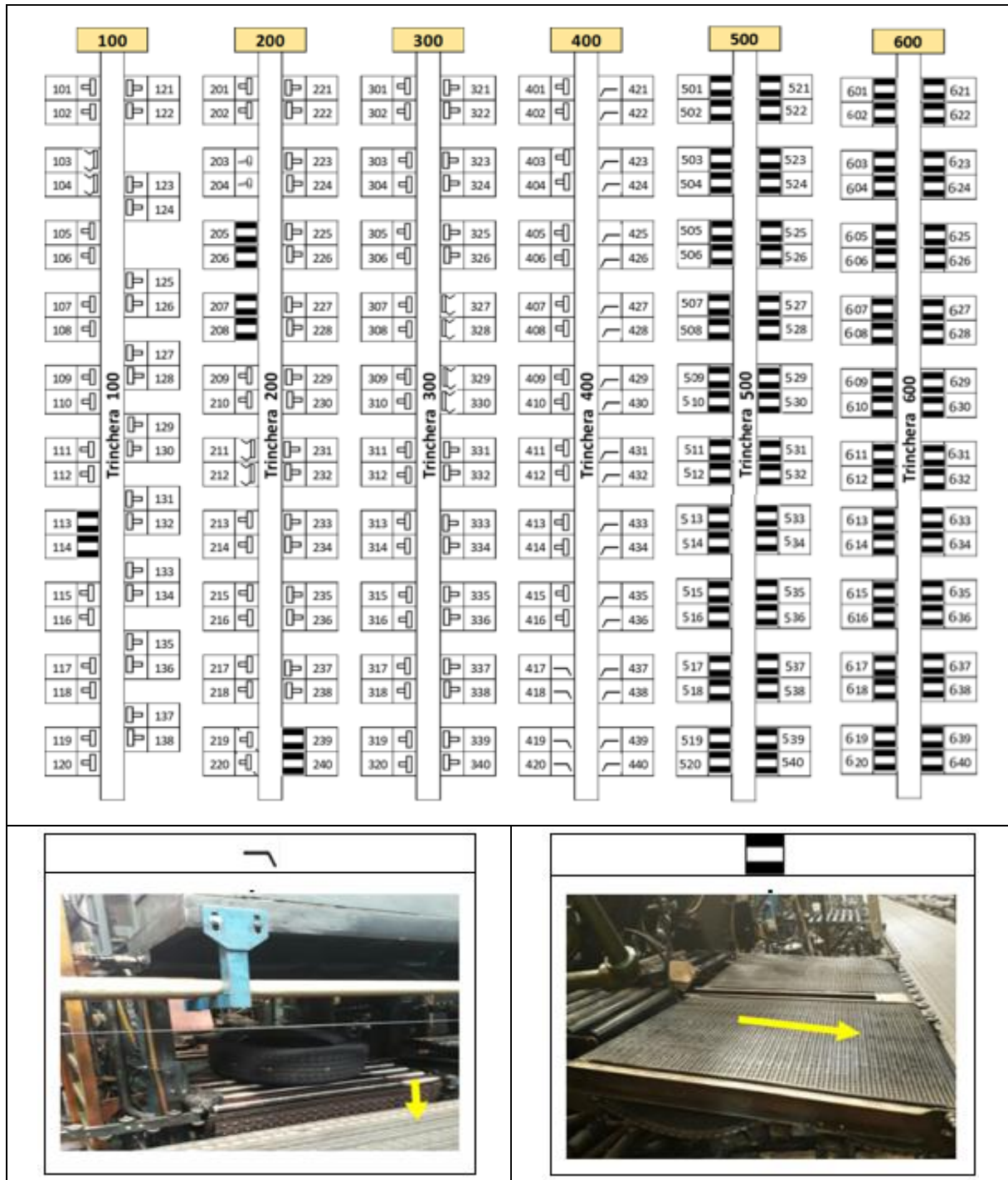
Fuentes: datos entregados durante el proceso de inducción, infografías dispuestas en planta, y revisión de los artículos citados.

Tabla 62. Tipos de desperdicios en las empresas.

Desperdicio	Descripción
Sobreproducción	Ocurre cuando se genera un producto aún no requerido por un cliente o proceso siguiente utilizando espacio de almacenamiento
Tiempo ocioso	Se genera por falta de trabajo o demoras en el actuar normal de las máquinas u operarios (por set-up, falta de insumos, etc.)
Distancia/Transporte	Se presenta al mantener almacenes intermedios, ya que los productos realizan viajes dobles desde su origen a su siguiente destino desperdiciando tiempo, esfuerzo y arriesgándose a daño
Inventario	Exceso de materiales en almacenamiento que implican un costo de espacio y de administración
De proceso	Acciones anexas al proceso productivo que no añaden valor (inspección y reparado de neumáticos)
Movimiento	Desplazamiento innecesario de los operarios que se mejora con el tiempo (aprendizaje), pero que en un comienzo genera mayores tiempos de ciclo de producción y posibles lesiones por repetición y posturas incorrectas
Defectos	Productos que no cumplen las especificaciones técnicas requeridas, también denominados Scrap

Fuente: Sortillón, 1994 y Andrade, 2006.

14.4. Anexo D: Levantamiento de información



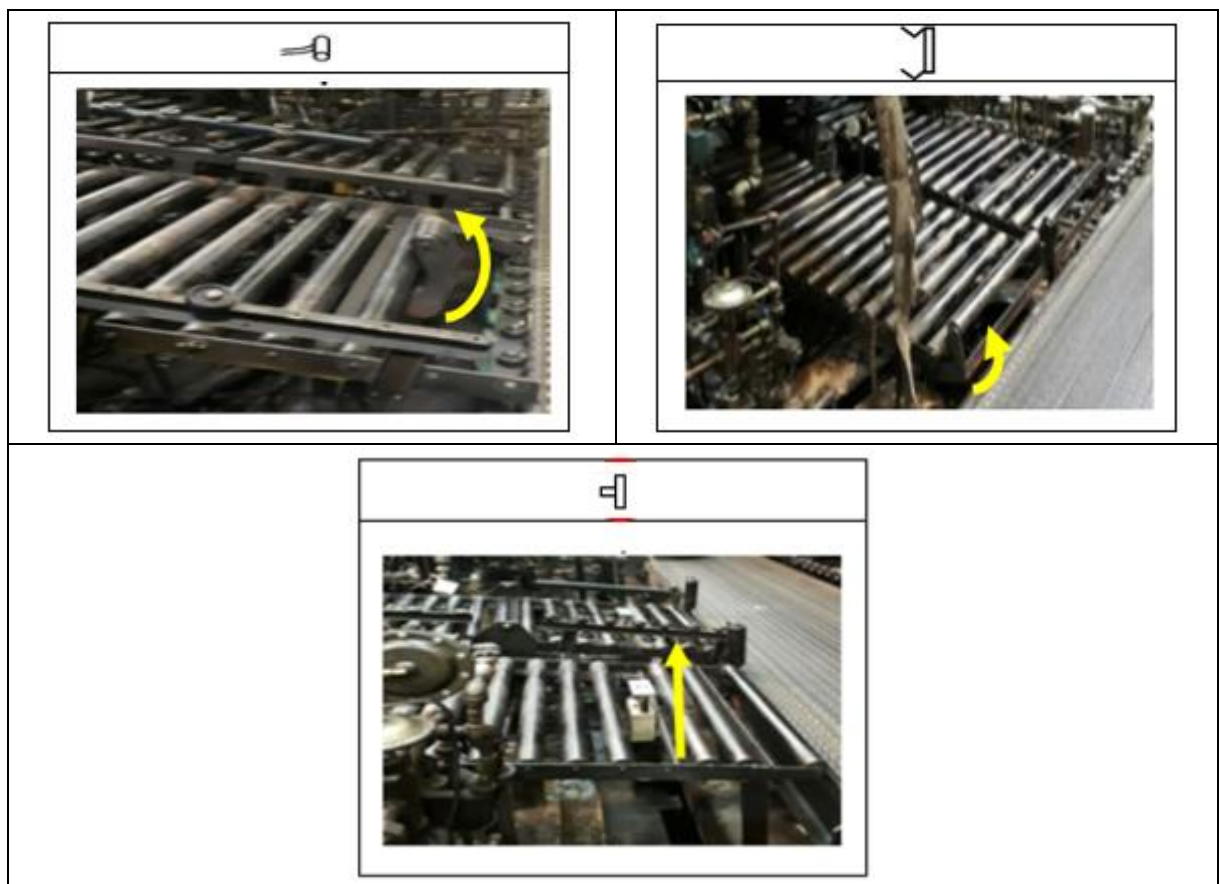


Figura 82. Esquema de bandejas y compuertas en cavidades de vulcanización.

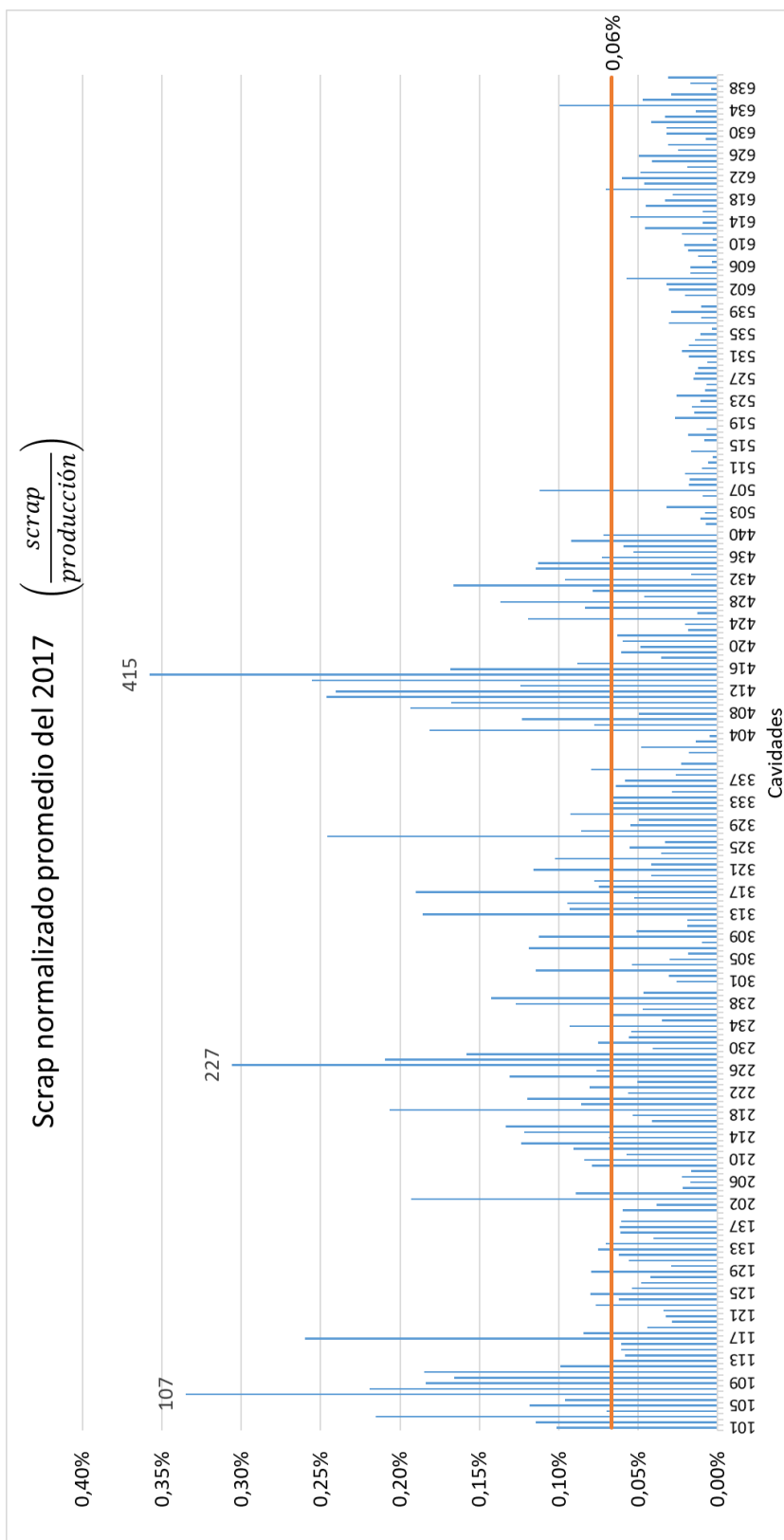


Figura 83. Scrap normalizado promedio (2017) por cavidad.

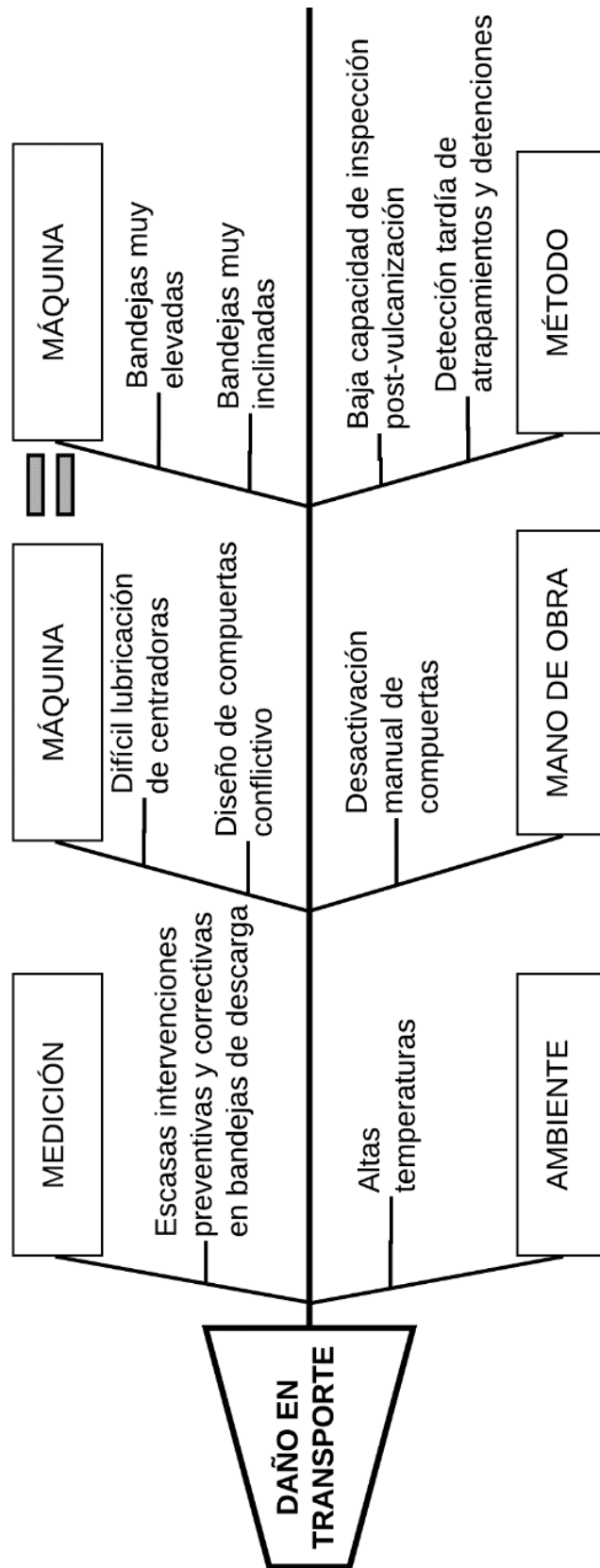


Figura 84. Diagrama de causa y efecto para la problemática Daño en Transportadora.

14.5. Anexo E: Propuestas de mejora

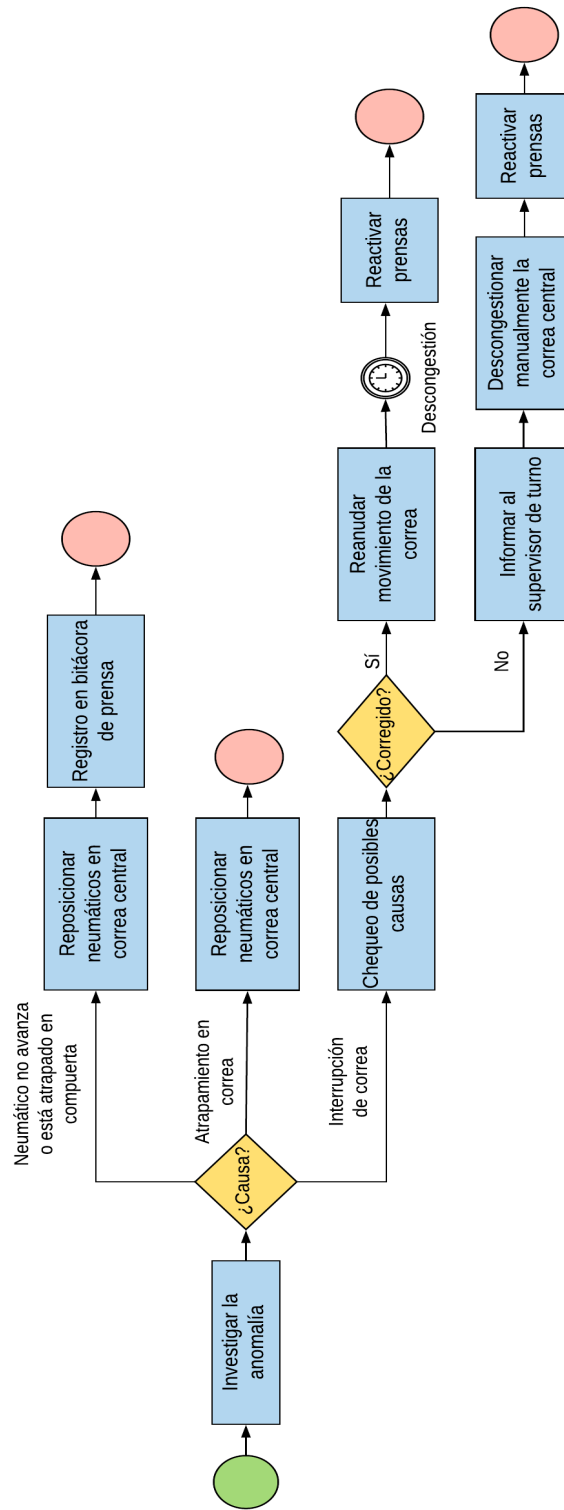


Figura 85. Plan de contingencia.